

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

Katedra Energetiky

Využívání bioplynu pro energetické účely  
Use of Biogas for Energy Purposes

Student: Bc. Adam Šimeček

Vedoucí diplomové práce: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adam Šimeček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Využívání bioplynu pro energetické účely**  
**Use of Biogas for Energy Purposes**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhnete možnosti optimalizace produkce a využívání bioplynu pro konkrétní instalaci.  
Předložené řešení bude obsahovat:  
Popis současného stavu vybrané konkrétní instalace.  
Návrhy variantního řešení s hodnocením přínosů, např. ekonomických, environmentálních nebo technických, výpočet konkrétního zvoleného řešení, doporučení pro provozovatele.  
Součástí navrhovaného řešení bude potřebná výkresová dokumentace např. výměňkový systém.

### Seznam doporučené odborné literatury:

SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), LEITFADEN BIOGAS: Von der Gewinnung zur Nutzung, FNR Gülzow, 7. Auflage, 2016, 248 s. ISBN 3-00-014333-5.  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Biogas, FNR Gülzow, 9. überarbeitete Auflage, 2013, 44 s.  
MICHAEL J. MORAN, HOWARD N. SHAPIRO. Fundamentals of engineering thermodynamics. 5th ed., SI version. Chichester: J. Wiley & Sons, 2006. ISBN 0470030372.  
WAYNE C. TURNER. Energy Management Handbook. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Distributed by Prentice-Hall PTR, 1997, p. 400. ISBN 0-13-728098-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Šimeček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Veselíčko 11, 751 25 Veselíčko

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šimeček, A. *Využívání bioplynu pro energetické účely*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2018, 62 s. Vedoucí práce: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá možnostmi zefektivnění produkce a využívání bioplynu v bioplynové stanici v Haňovicích. Diplomová práce je rozdělena do několika kapitol. Teoretická část této práce je zaměřena na bioplynové stanice, vznik a hlavní parametry bioplynu. V této diplomové práci je provedena základní analýza deskového tepelného zpracování. Tyto znalosti byly využity v praktické části této práce, kde se provádí návrh a výpočet tohoto typu výměníku tepla podle hlavních parametrů. Práce se rovněž zabývá výrobou bioplynu při výměně surovin v případě pořízení nové kogenerační jednotky. Z důvodu přísnějších emisních limitů je na konci práce provedena ekonomická analýza situace revitalizace stávajících kogeneračních jednotek a získání zcela nových zdrojů.

## ANNOTATION OF MASTER'S THESIS

Šimeček, A. *Use of Biogas for Energy Purposes*: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2018, 62 pages. Head of thesis: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

The master thesis is dealing the possibilities of more efficient of the production and use of biogas in the biogas plant in Haňovice. The thesis is divided into several capitols. The theoretical part of this thesis is focused on biogas stations, development and main parameters of biogas. In this thesis is make the basic analysis of plate heat exchanger. These knowledges were use in the practical part of this thesis where is making the design and calculation of this type heat exchanger according to main parameters. The thesis also deals with the production of biogas during the change of the raw materials in case of acquisition of a new cogeneration unit. Due to the stricter emission limits is made in the end of the work an economic analysis of the situation of the revitalization of the existing cogeneration units and the acquisition of completely new sources.

# OBSAH

Seznam použitých veličin, zkratek, symbolů a jednotek .....	8
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2. BIOPLYNOVÉ STANICE.....</b>	<b>11</b>
2.1 Bioplynové stanice zemědělské .....	12
2.2 Bioplynové stanice odpadové .....	12
2.3 Bioplynové stanice průmyslové.....	13
2.4 Rozdělení bioplynových stanic podle technologie .....	14
2.4.1 Suchá fermentace.....	14
2.4.2 Mokrá fermentace .....	15
2.5 Přehled bioplynových stanic v Evropě .....	16
2.5.1 Bioplynové stanice na Slovensku .....	16
2.5.2 Bioplynové stanice v Německu.....	17
2.5.3 Bioplynové stanice v USA .....	17
2.5.4 Bioplynové stanice ve Švédsku.....	17
2.5.5 Bioplynové stanice ve Švýcarsku .....	18
2.5.6 Bioplynové stanice v Rakousku.....	18
<b>3. Bioplyn .....</b>	<b>19</b>
3.1 Historie využívání bioplynu.....	19
3.2 Složení bioplynu .....	19
3.2.1 Metan .....	20
3.2.2 Oxid uhličitý.....	20
3.3 Suroviny vhodné pro tvorbu bioplynu .....	21
3.4 Faktory ovlivňující tvorbu bioplynu .....	21
3.4.1 Teplota a tlak .....	22
3.4.2 Reakce prostředí .....	22
3.4.3 Nutrienty a substrát .....	23
3.4.4 Přítomnost inhibujících a toxických látek.....	23
3.4.5 Měrná hmotnost bioplynu .....	23
3.4.6 Zápalnost .....	23
3.4.7 Výhřevnost bioplynu .....	24
3.4.8 Optimální složení surovinové směsi .....	24
3.5 Možnosti využívání bioplynu .....	25
3.6 Skladování bioplynu .....	27
<b>4. Tepelné výměníky .....</b>	<b>29</b>
<b>5. Praktická část diplomové práce.....</b>	<b>33</b>
5.1 Popis zemědělského družstva Haňovice .....	33
5.2 Současný stav BPS Haňovice .....	36
5.2.1 Popis stávajících využívaných výměníků .....	37
<b>6. Návrh řešení .....</b>	<b>39</b>
6.1 Bilanční schéma a výpočet navrhovaného výměníku .....	39
6.1.1 Určení teploty z bilanční rovnice.....	40
6.1.2 Výpočet střední logarytmické teploty.....	43
6.1.3 Výpočet potřebné plochy výměníku.....	43
6.1.4 Návrh počtu desek výměníku.....	44
6.2 Výpočet produkce bioplynu.....	46
6.3 Výhled do budoucna .....	49
6.4 Návrh nového možného řešení pro stávající instalaci .....	52
6.4.1 Legislativní změny.....	52
6.4.2 Návrh řešení za účelem dodržení nových emisních limitů.....	54

<b>7. Závěr .....</b>	<b>55</b>
<b>8. Literatura .....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam tabulek, obrázků, grafů a příloh .....</b>	<b>61</b>
Seznam tabulek .....	61
Seznam obrázků .....	61
Seznam grafů .....	62
Seznam příloh .....	62

## Seznam použitých veličin, zkratk, symbolů a jednotek

Značka	Veličina	Jednotka
$Q_n$	Celková tepelná výkon	[kW]
$Q_1$	Výkon výměníku č. 1	[W]
$Q_2$	Výkon výměníku č. 2	[W]
$S_d$	Vypočítaná plocha desky výměníku	[m <sup>2</sup> ]
$S_v$	Vypočítaná plocha výměníku	[m <sup>2</sup> ]
$S$	Plocha výměníku	[m <sup>2</sup> ]
$\Delta t_1$	Střední teplotní spád topné strany	[°C]
$\Delta t_2$	Střední teplotní spád chladné strany	[°C]
$\Delta t$	Střední teplotní spád	[°C]
$c_p$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg · K]
$c_1$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg · K]
$t_{2(1)}$	Vstupní teplota ohřívaného média	[°C]
$t_2$	Výstupní teplota	[°C]
$t_1$	Vstupní teplota	[°C]
$m_1$	Hmotnostní průtok do výměníku	[kg/s]
$m_{1v}$	Hmotnostní průtok výměníku č. 1	[kg/s]
$m_{2v}$	Hmotnostní průtok výměníku č. 2	[kg/s]
$m_2$	Součet hmotnostních průtoků ohřívané větve	[kg/s]



$k$	Součinitel postupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
$\Lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W}/\text{mK}]$
$\eta_k$	Tepelná Účinnost kotle	$[\%]$
$\text{CH}_4$	Metan	$[\%]$
$\text{CO}_2$	Oxid uhličitý	$[\%]$
$\text{H}_2$	Vodík	$[\%]$
$\text{H}_2\text{S}$	Sulfan	$[\%]$
$\text{N}_2$	Dusík	$[\%]$
$\text{NH}_3$	Amoniak	$[\%]$
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava	$[-]$
BPS	Bioplynová stanice	$[-]$
ČOV	Čistírna odpadních vod	$[-]$

# 1. ÚVOD

V současné době jsou stále využívány primární energetické zdroje, které tvoří z 81 % fosilní paliva. Česká republika se ve využívání primárně energetických zdrojů oproti světovému průměru významně odlišuje. Hlavní energetickou surovinou je stále uhlí. Stále hovoříme o možném vyčerpání těchto surovin, ale vypadá to, jako by tuto skutečnost nikdo nebral vážně. Zdá se, že to možná není problém mé generace, ale určitě je nutné se otázkou vyčerpatelnosti primárních surovin začít zabývat, aby generace následující nečekala jen zpustošená planina.

Obzvlášť dnes, kdy technologie dokazují neuvěřitelné účinky a možnosti, je nutné začít využívat to, co nám samotná příroda a odpadní produkty nabízí a dokázat tak, že ne vše lze pouze s použitím uhlí, ropy a zemního plynu.

V posledních letech, díky snaze nahradit alespoň část fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie, jsou inovovány a rozvíjeny různorodé technologie včetně anaerobné digesce organických materiálů a to zejména pro zpracování biomasy a odpadních materiálů rostlinného a živočišného původu. Bioplynové technologie prochází stále částí vývoje a jejich potenciál z důvodu omezení ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky odpadů bude v blízké budoucnosti růst. Jedná se o zajímavou alternativu pro získávání tepelné i elektrické energie, bez které bychom v moderním světě nedokázali přežít ani jeden den.

Předložená diplomová práce je rozdělená na teoretickou a praktickou část. V teoretické části autor seznamuje čtenáře s bioplynovými technologiemi, jejich jednotlivými součástmi a s BPS v Evropě. Hlavní pozornost je věnována energeticky využitelnému produktu a to bioplynu. Zejména jeho tvorbou, složením, parametry a využitím. Krátká kapitola pojednává i o historii vzniku tohoto paliva.

V praktické části této práce je řešen hlavní cíl a to zhodnotit možnost intenzifikace produkce bioplynu v bioplynové stanici Zemědělského družstva Haňovice a navrhnout možné variantní řešení pro tuto zvolenou instalaci.

## **2. BIOPLYNOVÉ STANICE**

Bioplynové stanice jsou zařízení, které využívají proces anaerobní digesce při zpracování biologicky rozložitelného materiálu nebo bioodpadu. Výsledkem tohoto procesu a hlavním produktem anaerobní digesce je bioplyn, který lze hojně využívat jako alternativní zdroj energie. V bioplynových stanicích lze zpracovávat široké spektrum materiálů od odpadů z živočišné výroby a rostlinných zbytků až po komunální odpad a kaly z čistíren odpadních vod. Z hlediska používaných materiálů můžeme bioplynové stanice rozdělit na zemědělské a odpadové.[8]

Mezi nejrozšířenější druh bioplynových stanic patří zemědělské bioplynové stanice. Tyto bioplynové stanice jsou předurčeny pro zpracování energetických plodin, které jsou cíleně pěstované, patří zde např. kukuřice, cukrová řepa, řepka olejka. Vhodným doplňkem k těmto energetickým plodinám jsou vedlejší produkty ze zemědělství například živočišná kejda nebo hnůj. Parametry vstupního materiálu jsou do jisté míry homogenní a z tohoto důvodu není nutné materiál upravovat před vstupem pomocí dalších technologií.[9]

### **Výhody:**

- Levné technologie.
- Konkurenční prostředí na trhu surovin a technologií.
- Jednoduchý povolovací proces.
- Vyzkoušený provoz.
- Uplatnění pro dosud nevyužitou biomasu.
- Možnost využití digestátu pro vlastní potřebu.

### **Nevýhody:**

- Zvýšená frekvence dopravy z důvodu návozu surovin a odvozu digestátu.
- Nutno nakupovat vsázku.
- Nutná úzká kooperace.
- Malý odbyt vyrobeného tepla.

## **2.1 *Bioplynové stanice zemědělské***

Mezi nejrozšířenější druh bioplynových stanic patří zemědělské bioplynové stanice. Tyto bioplynové stanice jsou předurčeny pro zpracování energetických plodin, které jsou cíleně pěstované, patří zde např. kukuřice, cukrová řepa, řepka olejka. Vhodným doplňkem k těmto energetickým plodinám jsou vedlejší produkty ze zemědělství například živočišná kejda nebo hnůj. Parametry vstupního materiálu jsou do jisté míry homogenní a z tohoto důvodu není nutné materiál upravovat před vstupem pomocí dalších technologií. [9]

### **Výhody:**

- Levné technologie.
- Konkurenční prostředí na trhu surovin a technologií.
- Jednoduchý povolovací proces.
- Vyzkoušený provoz.
- Uplatnění pro dosud nevyužitou biomasu.
- Možnost využití digestátu pro vlastní potřebu.

### **Nevýhody:**

- Zvýšená frekvence dopravy z důvodu návozu surovin a odvozu digestátu.
- Nutno nakupovat vsázku.
- Nutná úzká kooperace.
- Malý odbyt vyrobeného tepla.

## **2.2 *Bioplynové stanice odpadové***

Tento druh BPS slouží ke zpracování biologicky rozložitelných odpadů, jako jsou například odpady komunální, z potravinářského průmyslu (potravininy po ukončení expirace) nebo kaly z ČOV. Vstupní materiál není homogenní a může obsahovat choroboplodné zárodky. S ohledem k této skutečnosti je nutné, aby před procesem fermentace prošel třídící linkou, homogenizací úpravou podrcením na jemnou frakci a také odstraněním choroboplodných zárodku tím, že substrát zahřejeme na určitou teplotu. Vzhledem k různorodosti ve složení bioodpadů je proces fermentace řízen tak, aby nedocházelo ke kolizím procesu. Výsledkem fermentace je vznik bioplynu, který dále

využijeme tak, jako palivo pro kogenerační jednotky čímž získáme teplo a elektrickou energii. Zbytek z fermentace se dá využít jako organické hnojivo. [9]

Bioplynové stanice odpadové nejsou veřejností vnímány příliš pozitivně, z tohoto důvodu je obtížné najít vhodnou lokalitu pro umístění. Fermentační proces je velmi náročný, proto je důležité striktní dodržení provozního řádu a dodržení pracovních a provozních podmínek. [9]

#### **Výhody:**

- Příjem z prodeje energií a zpracování bioodpadu.
- Cena zpracování bioodpadů poroste.
- Odpadají náklady na cíleně pěstovanou biomasu.
- Nové technologie, které eliminují negativní vlivy na své okolí.

#### **Nevýhody:**

- Složitý povolovací proces.
- Vysoké investiční náklady.
- Zajištění vstupních surovin.[9]

### ***2.3 Bioplynové stanice průmyslové***

Tyto stanice zpracovávají různé druhy rizikových materiálů v jednom zařízení. Mezi tyto materiály patří jateční materiály, kaly z různých provozů. Vzhledem k těmto skutečnostem jsou na tyto stanice kladeny vysoké nároky pro použití dané technologie a také pravidla pro dodržování hygienických podmínek. Musí být vybaveny pasterizačně/sanitační jednotkou, která zajišťuje hygienizaci vedlejších živočišných produktů. Další nezbytnou podmínkou jsou vyhrazené prostory pro desinfekci a čištění dopravních prostředků a přepravních nádob. Tyto přísné požadavky na danou technologii a její dodržování se musí pravidelně kontrolovat a vyhodnocovat, zda splňují předepsané normy a to v externí nebo vlastní laboratoři. [9]

### **Výhody:**

- Spotřeba obnovitelných zdrojů.
- Využitelnost energie a tepla. [9]

### **Nevýhody:**

- Vysoké investiční náklady pro výstavbu.
- Vysoké náklady pro vybavení a technologii. [9]

## ***2.4 Rozdělení bioplynových stanic podle technologie***

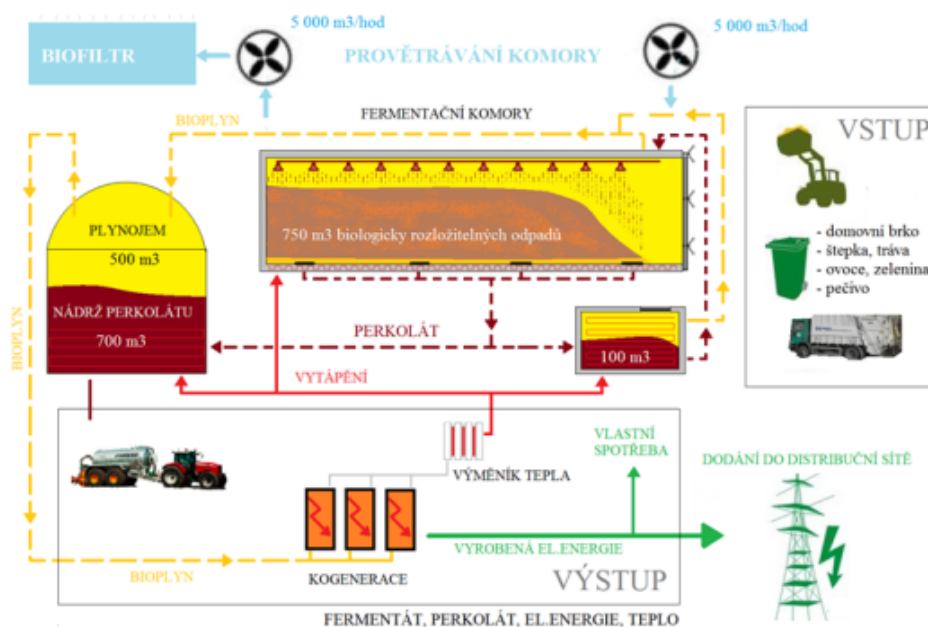
Následující podkapitola se zabývá rozdělením bioplynových stanic podle použitých technologií, které se podílejí na tvorbě bioplynu

### **2.4.1 Suchá fermentace**

Tato technologie je vývojově mladší než technologie mokré fermentace. Při použití technologie suché fermentace dokážeme zpracovat substráty 3 až 4 násobně větším obsahem organické hmoty oproti reaktorům, které se používají pro mokrou fermentaci. Hlavním vstupním parametrem bývá nejčastěji ředící kapalina s pracovní sušinou, která se v reaktorech pohybuje přibližně v 30 % zastoupením.[9,11]

Suchá fermentace využívá proces, kdy materiál je dávkován do paralelních fermentačních boxů z železobetonu, následně je uzavřen a zahřát na provozní teplotu za současného zkrápění procesní kapalinou. Tento typ fermentace se využívá u bioplynových stanic zpracovávající komunální odpad. Suchou fermentaci lze použít i v případech, kdy pro zpracování biomasy nelze využít mokrou cestu z důvodu, že se tvoří krusty, které mohou ucpávat čerpadla.[9,11]

## SCHÉMA BIOPLYNOVÉ STANICE



Obrázek č. 2.1: Schéma bioplynové stanice s využíváním technologie suché fermentace [11]

### 2.4.2 Mokrý fermentace

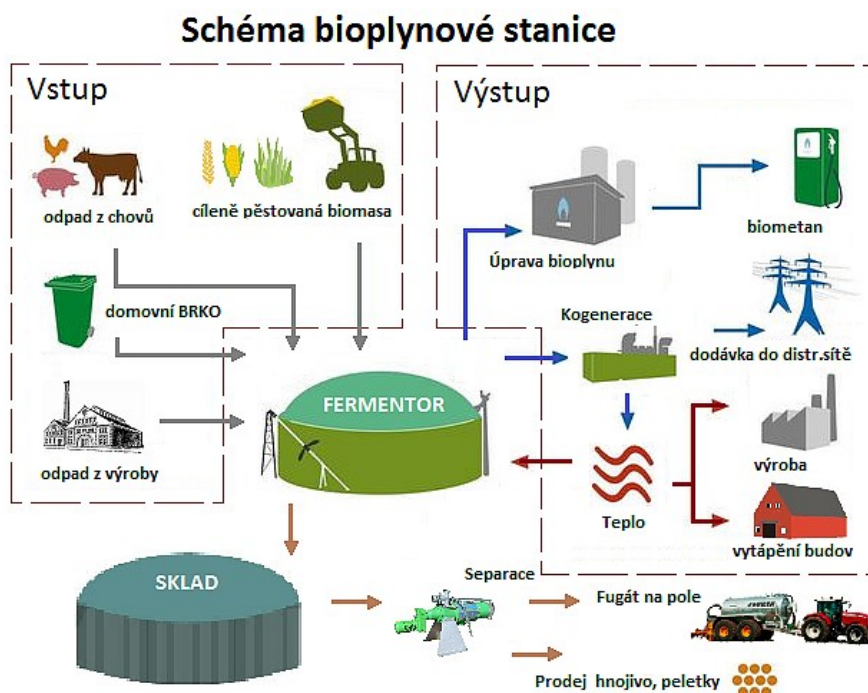
Mokrý fermentace využívá obvykle fermentor s vertikální osou a materiál ve fermentoru má obsah sušiny do 12 %. V praxi materiál s vyšším obsahem sušiny se před vstupem do fermentoru ředí v určitém poměru s kejdou nebo procesní kapalinou na požadovaný podíl sušiny. Důležitá je volba materiálu, aby nedocházelo k ucpávání čerpadel nebo míchacího systému a technologie mohla fungovat bez komplikací. [9,11]

Druhy fermentorů:

Fermentor s integrovaným plynojemem.

Fermentor + samostatný plynojem.

Fermentor + dohnívací nádrž s integrovaným plynojemem.



**Obrázek č. 2.2: Schéma bioplynové stanice s využíváním technologie mokré fermentace. [11]**

Bioplynové stanice v současné době stále procházejí vývojem a neustále se, aby bylo dosaženo co nejefektivnější účinnosti a co nejlepších výsledků. [9,11]

## **2.5 Přehled bioplynových stanic v Evropě**

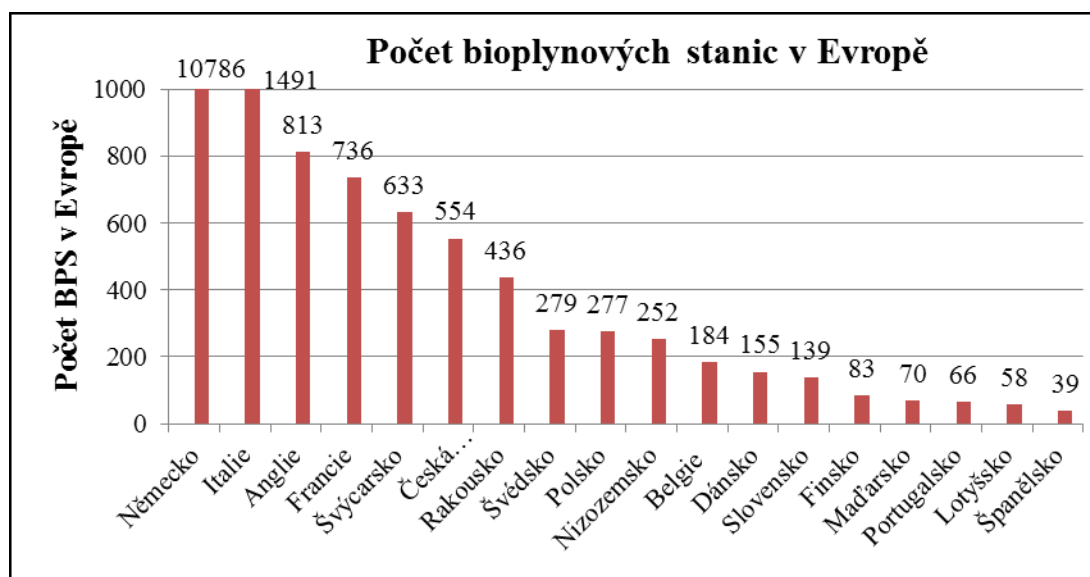
Z dostupných údajů z roku 2015 zaujímá Česká Republika 6. místo v počtu bioplynových stanic v Evropě a to o celkovém počtu 554, jak je patrné z grafu č. 2.1. Na první příčce je Německo s počtem 10 756 stanic, na druhém místě Itálie s počtem 1491 a třetí místo zaujímá Velká Británie s počtem stanic 813. [12]

### **2.5.1 Bioplynové stanice na Slovensku**

Na rostoucím slovenském trhu s obnovitelnými zdroji energie se do roku 2013 prosazovali bioplynové stanice. V roce 2014 však nastal zásadní útlum. Největší zařízení je umístěno v Badíně od společnosti KOMPALA a.s.. Toto zařízení má výkon 7,03 MW. Až 70 % bioplynových stanic na Slovensku má instalovaný výkon v rozmezí 0,9 – 1 MW. Tyto stanice jsou nejčastěji využívány pro výrobu elektrické energie ze zbytků kukuřičné siláže. Podle statistiky bylo na Slovensku k roku 2015 vybudováno 139 bioplynových stanic. [13]



**Graf č. 2.1: Přehled BPS v Evropě**



### **2.5.2 Bioplynové stanice v Německu**

Největší množství vyrobené elektrické energie v Německu pochází z BPS o celkovém výkonu 30,1 TWh. Toto množství představuje 62 % celkově vyrobené el. energie z obnovitelných zdrojů. V roce 2014 došlo k reformě zákona o obnovitelných zdrojích energie, což přispělo k omezení podpory výroby bioplynu. Výroba bioplynu se rapidně snížila, což mělo za následek pokles počtu nově vybudovaných BPS v Německu. [14]

### **2.5.3 Bioplynové stanice v USA**

Přestože je USA obrovskou velmocí, tak v oblasti bioplynárenství významně neexceluje. Počet bioplynových stanic ve všech státech činí cca 2 200 stanic. Z tohoto počtu pouze 259 je používáno v zemědělském průmyslu. V USA je právě velká část průmyslu věnována zemědělství. Rozvoj ve výstavbě dalších bioplynových stanic zpracovávajíc odpad ze zemědělství bude snad jen otázkou času a to zejména z důvodu, že se v USA klade velký důraz a pozornost na zemědělský průmysl. [15]

### **2.5.4 Bioplynové stanice ve Švédsku**

Ve Švédsku nachází více než 200 míst vyrábějících bioplyn. Bioplyn zde má dlouholetou tradici a je vyráběn v čistírnách odpadních vod a to zejména v posledních 10 až 15 letech. S narůstajícím počtem kogeneračních bioplynových stanic se využívají nejrůznější organické materiály a suroviny. Současná produkce bioplynu je 5 PJ, což

odpovídá 0,3 % z celkové spotřeby potřebné energie. Z toho 10 % bioplynu je využíváno jako pohonná hmota pro autobusovou dopravu. Švédsko bylo osvobozeno od daně z pohonných hmot u paliv vyrobených z bioplynu. Tyto paliva jsou téměř o 45 % levnější než benzín. Další výhodou pro vozidla poháněná bioplynem je možnost bezplatného parkování na určitých místech ve Švédsku. [24]

### **2.5.5 Bioplynové stanice ve Švýcarsku**

Švýcarsko je malá země s vysokou hustotou osídlení. Již přes deset let v této zemi platí přísný zákaz skládkování. Problematika zabývající se nakládáním s odpady je zde velmi pečlivě plánována a využívá nejvyspělejší technologie. S touto problematikou souvisí zpracování biologicky rozložitelných odpadů a stavba bioplynových stanic. Podobně jako ve Švédsku tak i ve Švýcarsku se upravený bioplyn využívá jako palivo pro motorová vozidla. Na biopaliva zde jezdí celkem 520 aut, která mají k dispozici 27 dobíjecích stanic. Výhodou je však skutečnost, že bioplyn není zatížen daní. [25]



**Obrázek č. 2.3: Pracovní technika s pohonem na bioplyn [27]**

### **2.5.6 Bioplynové stanice v Rakousku**

V Rakousku je v provozu okolo 100 bioplynových zařízení, které zpracovávají nejen odpady z živočišné výroby, ale také přebytky travních hmot, odpady z domácností a biologicky rozložitelné odpady, které mohou být zátěží pro životní prostředí. Podíl vyrobené energie z obnovitelných zdrojů činí 24 % z celkové potřeby. Bioenergie ze zemědělských plodin by měla vést ke splnění milníku rakouské politiky a to zejména výrobou bioplynu. Bioplynové stanice jsou neustále zdokonalovány, protože mají zaručený přísun dotací ze strany státu. [25]

### 3. Bioplyn

Následující kapitola se okrajově zaměřuje na historii bioplynu, dále pak na vlastnosti, složení bioplynu a parametry ovlivňující jeho tvorbu a také na parametry ovlivňující jeho produkci.

#### 3.1 *Historie využívání bioplynu*

V roce 1770 se italský přírodovědec Alessandro Volta, vynálezce elektrometru a kondenzátoru provádí pokus spalování bahenního plynu z hornitalských jezer. [3]

V roce 1821 sestavil Avogadra chemický vzorec metanu. První vyrobený bioplyn byl vytvořen francouzským bakteriologem Pasteurem a pocházel z koňského trusu a jeho využití bylo pro osvětlení francouzských povozů a pouličních lamp. V roce 1897 se v indické Bombaji postavilo první zařízení, které využívalo plyn ke svícení. Později roku 1907 se plyn začal také využívat pro výrobu elektrické energie z motorů. [3]

Využití kalového plynu se do období 2. Světové války rozvíjelo pomocí výroby plovoucích zvonů. Na plyny byly prováděny pokusy za účelem odvodnění, eliminaci oxidu uhličitého a sulfanu. Použití natlakovaného plynu do ocelových lahví a využívat ho jako palivo pro automobily. Z důvodu vysoké poptávky po tomto plynu bylo žádoucí, aby se zvýšila produkce z čističek odpadních vod a to tak, že se přidávaly organické odpadní materiály, první z přísad byl tuk. Další pokusy byly prováděny přidáváním obsahu bachoru přežvýkavců, lignitu, rostlinného odpadu a odpadu ze sladkého dřeva. [3]

#### 3.2 *Složení bioplynu*

Reaktorové bioplyny jsou zpravidla prakticky tvořeny směsí metanu a oxidu uhličitého v různých poměrech a závisejí na podmínkách biometanizace, na kvalitě a složení vstupního substrátu. Ve stopových složkách je velká difference mezi plyny reaktorovými a skládkovými. V běžném případě do majoritních složek bioplynu zahrnujeme mále obsahy přítomných plynu v desetinách objemového procenta (vodní pára, amoniak, sulfan, dusík, kyslík, vodík). Hlavním složkou v bioplynu je  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$ . Různé zdroje uvádí proměnlivé hodnoty zejména u obsahu metanu. Jeho množství závisí na vstupním substrátu. Jeho množství v bioplynu se pohybuje v rozmezí od 50 % do 85 % obj. Určení přesného obsahu metanu a oxidu uhličitého v bioplynu podle použitého substrátu není příliš reálné, neboť celý proces ovlivňuje mnoho dalších faktorů jako je složení

bakteriálních kultur, teplota procesu, pH, dále zatížený a zvolený typ reaktoru. V následující tabulce č. 3.1 je uvedeno složení bioplynu. [1]

**Tabulka č. 3.1: Složení bioplynu [29]**

Složka	Obsah v obj. %
Metan CH <sub>4</sub>	45 -75 %
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	25-48 %
Vodík H <sub>2</sub>	0-3 %
Sulfan H <sub>2</sub> S	0,1-1 %
Dusík N <sub>2</sub>	1-3%
Amoniak NH <sub>3</sub>	stopové množství

### 3.2.1 Metan

Jedná se o plyn, který je za běžné teploty a tlaku bez zápachu a barvy. Na trhu se z důvodu bezpečnosti a možného odhalení úniku metanu přidávají do složení sirné sloučeniny. Tento plyn je velice hořlavý a z tohoto důvodu se s oblibou využívá v oblasti průmyslu pro vytápění. Metan nepatří mezi skupinu jedovatých plynů, riziko práce s metanem spočívá v tom, že je vysoce hořlavý a také v určitém poměru se vzduchem může tvořit výbušnou směs. Mezi hlavní zdroje metanu patří těžba zemního plynu rozklad organické hmoty a sopečná činnost. [1]

### 3.2.2 Oxid uhličitý

Jedná se bezbarvý plyn bez zápachu, který je těžší než vzduch. Při kontaktu se sliznicemi je dráždí a má nakyslou chuť. V přírodní formě jsou jeho hlavním zdrojem sopečná činnost, fermentace, dýchání aerobních organismů. V pevném, skupenství je nazýváme suchý led. Z umělých zdrojů sem patří zejména spalování organických látek, výroba elektrické energie při využívání fosilních paliv a mezi hlavní tvůrce patří dopravní prostředky. [1]

### **3.3 Suroviny vhodné pro tvorbu bioplynu**

Pro výrobu bioplynu je možné využít široké spektrum materiálů. Nejvýznamnější surovinou pro výrobu bioplynu je zbytková biomasa vzniklá v zemědělském odvětví, odpady z živočišné výroby a nevyužité zbytky rostlin. Exkrementy hospodářských zvířat lze v dnešní době mnohem obtížněji využívat jako hnojivo pro rostlinnou výrobu, proto nachází své významné uplatnění v bioplynových technologiích. Ze zbytků rostlinné výroby se jedná o produkty, které nemají již žádné další uplatnění nebo o cíleně pěstované energetické plodiny. Významným zdrojem pro výrobu a získávání bioplynu jsou usmrcená nebo pošla hospodářská zvířata, kdy se tak zajistí bezpečná likvidace. Důležitým materiál jsou také komunální a kaly z čistíren odpadních vod. Významným zdrojem jsou právě biologicky rozložitelné odpady, které tvoří až 40 % komunálního odpadu. V plánu odpadového hospodářství ČR se stanovuje postupné snižování skládkování komunálního odpadu, což by postupně mohlo přispět k rozvoji nových bioplynových technologií, které se touto problematikou zabývají.[1]

### **3.4 Faktory ovlivňující tvorbu bioplynu**

Přirozená produkce bioplynu je známá zejména v oblastech jako jsou trávící traktory dobytka, mokřady, sedimenty v oblastech skladování hnoje, kejdy na skládkách a v bioplynových stanicích. Rozklad organických látek na bioplyn vyžaduje jisté podmínky. Pro řízenou fermentaci v bioreaktoru a správnou činnost je potřeba dodržovat zejména tyto parametry:

- Složení substrátu.
- Teplota (35 – 42 °C pro mezofilní oblast, 52 – 60 °C v termofilní oblasti).
- Míchání.
- Živiny.
- Anaerobní prostředí.
- pH v rozmezí 6,5-7,5. [1]

Při nejvyšší běžně používané teplotě (okolo 40 °C) stačí pouze asi 10dní pro rozklad. [1]

Anaerobní digesce je proces na sebe působících dalších biologických procesů. Rozklad látek na produkty metan a oxid uhličitý požaduje koordinovanou metabolickou

činnost. Produkt jedné skupiny organismů je substrátem druhé, proto nedostatečná aktivita jedné skupiny může způsobit porušení rovnováhy v celém systému a ovlivní tak chod a účinnost procesu. [2] Je tedy nutné dodržovat tyto následující parametry pro zajištění správného chodu BPS a tvorbu bioplynu.

### **3.4.1 Teplota a tlak**

Jedním z důležitých faktorů, které mají vliv na vznik bioplynu, je teplota procesu.

Možná se může zdát, že čím větší teplota ve fermentoru je, tím jsou bakterie více produktivní a vytváří více bioplynu. Pro každý druh mikroorganismů je stanovena optimální teplota růstu. Nedodržení správné teploty může přispět ke zpomalení tvorby bioplynu nebo k úplnému úmrtí mikroorganismů. Podle teploty rozlišujeme tři druhy mikroorganismů:

- Psychrofilní (pod 20 °C),
- Mezofilní (25 – 40 °C),
- Termofilní (50 – 60 °C).

Rozdíl mezi termofilním a mezofilním procesem je v reakční rychlosti a v jednotlivých stupních rozkladu. Nejvyšší účinnost dosahují termofilní procesy, protože s rostoucí teplotou roste reakční rychlost. Výhodou u těchto bakterií oproti svým předchůdcům je především hygienizace závadného materiálu a používají se spíše u suchých fermentačních procesů. Aplikační výzkum potvrdil skutečnost, že bakterie prokazují vysokou tolerantnost vůči tlakovým podmínkám. Z tohoto důvodu je vliv tlaku na proces biometanizace zanedbatelné. [1]

### **3.4.2 Reakce prostředí**

Jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující anaerobní procesy je koncentrace vodíkových iontů. Optimální hodnota pH pro růst metanogeních bakterií se nachází v neutrální oblasti 6,2 – 7,8. Stejně jako teplota, tak i pH prostředí má vliv na činnost bakterií. Většinou se správné pH kejdý a hnoje vytvoří samo v druhé fázi procesu vlivem tvorby amoniaku. V případě potřeby, jako je u syrovátky a siláže, lze přidat do procesu vápno pro zvýšení hodnoty pH. V případě změny hodnoty pH pod 6 nebo nad 8 je riziko, že celý proces bude ukončen. Velmi častým důvodem, kdy dojde k výkyvu hodnoty pH je

přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin mikroorganismy je rychlejší než spotřeba a dochází k jejich shromažďování v systému. [2]

### **3.4.3 Nutrienty a substrát**

Metanové bakterie nemohou rozložit tuky, proteiny, uhlovodíky a celulózu v čisté formě, proto potřebují dusíkaté sloučeniny a stopové prvky. V substrátu pro anaerobní rozpad je důležitý vyvážený poměr organického uhlíku, makro a mikronutrientů, kterých je například v hnoji mnoho. Důležitá je přítomnost růstových faktorů. [2, 3]

### **3.4.4 Přítomnost inhibujících a toxických látek**

Tyto látky nepříznivě ovlivňují celý biologický proces. Jedná se o organické látky, antibiotika, desinfekční prostředky, které se do procesu mohou dostat z desinfekčního ošetření stájí nebo ošetření zvířat. Nežádoucí je také výskyt vyšší koncentrace těžkých kovů. Nejčastěji se ovšem objevují látky, které svým inhibičním působením ovlivňují proces, až může dojít k úplnému zastavení, jedná se o mastné kyseliny a amoniak, jejichž přítomnost a tvorba je závislá na podmínkách pH. [2]

### **3.4.5 Měrná hmotnost bioplynu**

Parametr měrné hmotnosti bioplynu je závislý na obsahu jednotlivých složek. Bioplyn obsahující 60% metanu, 35% oxidu uhličitého, 5% stopových plynů je hodnota měrné hmotnosti  $1,21 \text{ kg/m}^3$ . To znamená, že je lehčí než vzduch. Proudící bioplyn se tak hromadí u podlahy a při stoupaní se mísí se vzduchem, což snižuje riziko hoření nebo výbuchu. [17]

### **3.4.6 Zápalnost**

Poměrně vysoká zápalná teplota pohybující se v rozmezí 650 až 750 °C, což je s ohledem k bezpečnosti jeden z příznivých faktorů. Maximální rychlost prostupu plamene vzduchem je 0,25 m/s. Tato rychlost je uváděna jako pomalé hoření, které je zapříčiněno příměsí oxidu uhličitého. Bioplyn hoří při určitých zápalných koncentracích ve směsi se vzduchem. Teoretická potřeba vzduchu k tomu, aby docházelo ke stechiometrickému spalování je  $5,7 \text{ m}^3$  na  $1 \text{ m}^3$  bioplynu. Jelikož je zcela nereálné dosáhnout ideální směsi bioplynu se vzduchem v hořáku či motoru je potřebný přebytek vzduchu 20 až 30 % pro skutečné hoření. [17]

### 3.4.7 Výhřevnost bioplynu

Výhřevnost bioplynu je hlavní energetický parametr., který je závislý na obsahu hlavní složky v bioplynu, kterou je metan. V následující tabulce č. 3.2 je uveden přehled výhřevnosti podle místa vzniku bioplynu.

**Tabulka č. 3.2: Výhřevnost bioplynu podle místa vzniku [16]**

Parametr	BP jímány ze skládky odpadů	Bioplyn z ČOV	Bioplyn z prasečí kejda
Výhřevnost [MJ/m <sup>3</sup> ]	169	21	24
H <sub>2</sub> [%]	1	1	-
CO [%]	1	-	-
O <sub>2</sub> [%]	3	-	-
N <sub>2</sub> [%]	-	-	-
Cl, F [mg/m <sup>3</sup> ]	-	-	-
NH <sub>3</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	-	-	40
CO <sub>2</sub> [%]	46	38	31
CH <sub>4</sub> [%]	49	61	69
H <sub>2</sub> S [mg/m <sup>3</sup> ]	350	1000	2300

### 3.4.8 Optimální složení surovinové směsi

Fermentor, ve kterém dochází k procesu anaerobní digesce, je možné přirovnat k žaludku přežvýkavců, kde za pomoci mikroorganismů dochází k produkci bioplynu. Jedná se o živý proces, který je velmi citlivý na kvalitu a změnu podmínek zejména hodnotu pH a dodržení konstantní teploty. [29]

Materiály s větším množstvím bílkovin a vyšším obsahem dusíku mohou v reaktoru působit negativně na aktivitu a snížit produkci bioplynu. Toto riziko hrozí u nevhodného dávkování jatečních odpadů a drůbežích podestýlek. Materiály jako kukuřice, hnůj či kejda mají naopak výhodný obsah dusíku. Nejběžnější vstupní surovinou pro výrobu bioplynu je prasečí a kravské kejda, kterou lze výborně kombinovat s ostatními materiály jako je travní senáž, která je samostatně obtížně pumpovatelná, z důvodu vysokého podílu sušiny.



Dalším vhodným materiálem je cíleně pěstovaná biomasa zejména kukuřice a travní senáž, na které se vztahuje podpora z obnovitelných zdrojů energie, kterou vyhláší Energetický regulační úřad.

Pro optimální chod je nutné dodržet co možná nejvíce homogenní složení vstupních surovin a přechody mezi různými materiály provádět s opatrností a v řadě měsíců. [29] V následujícím grafu 3.1 je uveden zisk bioplynu z jedné tuny vstupní suroviny.

**Graf č. 3.1: Závislost zisku bioplynu z jedné tuny vstupní suroviny [29]**



### 3.5 Možnosti využívání bioplynu

Využívání bioplynu je prakticky shodné s použitím zemního plynu a částí topných plynů. Mezi nejrozšířenější aplikace bioplynu patří jeho spalování. Spalováním bioplynu získáme teplo, které lze využít pro ohřev vody, sušení a vytápění. V rozvojových zemích lze bioplyn využívat i pro potřeby vaření z důvodu nedostatku dřeva. Pro vytápění pomocí bioplynu se využívají kotle s atmosférickými nebo dmychadlovými hořáky. [17]

Bioplyn také využíváme pro výrobu elektrické energie, pro kterou z hlediska účinnosti jsou vhodné dva typy technologií. Prvním typem je kogenerace a druhým trigenerace. Účinnost kogenerace je v rozmezí 80 až 90 %. Z důvodu velké účinnosti je kogenerace jedním z nejpoužívanějších systémů využití bioplynu. Princip kogenerace je v kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Pro výrobu elektrické energie se používá

spalovací motor, kde jako palivo je použit bioplyn. Tento motor pohání generátor, který produkuje elektrickou energii. Současně je tento motor chlazen a z chlazení motoru a výfukových plynů získáváme teplo, které lze dále využít např. pro ohřev nebo vytápění objektu. [17]

Trigenerace je podobný proces, jako kogenerace je však doplněn o zisk chladu. Jedná se o kogenerační jednotku, která je vybavena absorpční chladicí jednotkou. Toto spojení se jeví jako velmi výhodné z důvodu maximálního využití jednotky i v letních obdobích, kdy chlad můžeme využít pro aplikaci klimatizace. [17] Na obrázku č. 3.1 je zobrazeno srovnání kombinované a oddělené výroby energií z bioplynu.

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie se jeví příznivě, jak z ekonomického tak ekologického hlediska. Hospodárnější provoz je prokazatelný na úspoře paliva, protože při stejném výkonu je menší spotřeba. Nižší spotřeba paliva zaručuje úsporu na straně pořizovacích nákladů za palivo. V neposlední řadě je důležité si uvědomit, že čím méně paliva kogenerační jednotka spálí, tím méně škodlivých emisí bude vypuštěno do ovzduší. U kombinované výroby se vznikající teplo při výrobě elektřiny nemaří, ale je efektivně využíváno pro další potřeby. V případě kogeneračních jednotek v zemědělství se teplo dále využívá například pro vyhřívání přilehlých objektů, přípravu teplé vody. Účinnost kombinované výroby oproti oddělené výrobě tepla a elektřiny vzrostla z 60 % na 80 %, ale v praxi se může pohybovat až na hranici 90 %. [5]



**Obrázek č. 3.1: Srovnání kombinované a oddělené výroby energií [5]**

Bioplyn lze také velmi účinně využít v dopravě. Jako alternativní zdroj paliva pro dopravní prostředky se nepoužívá přímo bioplyn, ale jedná se upravený biometan, což je

bioplyn, který je zbaven oxidu uhličitého a má obsah metanu až 98%. Mezi biometanem a stlačeným zemním plynem označovaným jako CNG, který se běžně pro dopravu využívá je rozdíl pouze ve způsobu vzniku. [5]

### **3.6 Skladování bioplynu**

Následující podkapitola je zaměřená na skladování bioplynu, typy zásobníků a možnosti použití včetně použitých technologií.

Bioplyn se skladuje v plynojemu. Velikost plynojemů je dána objemem vyrobeného plynu a průběhem spotřeby. Zásobníky musí splňovat tyto parametry:

- Plynotěsnost,
- Odolnost proti tlaku,
- Odolnost proti mediím,
- Odolnost proti UV záření,
- Odolnost proti teplotám,
- Odolnost proti povětrnostním podmínkám. [4]

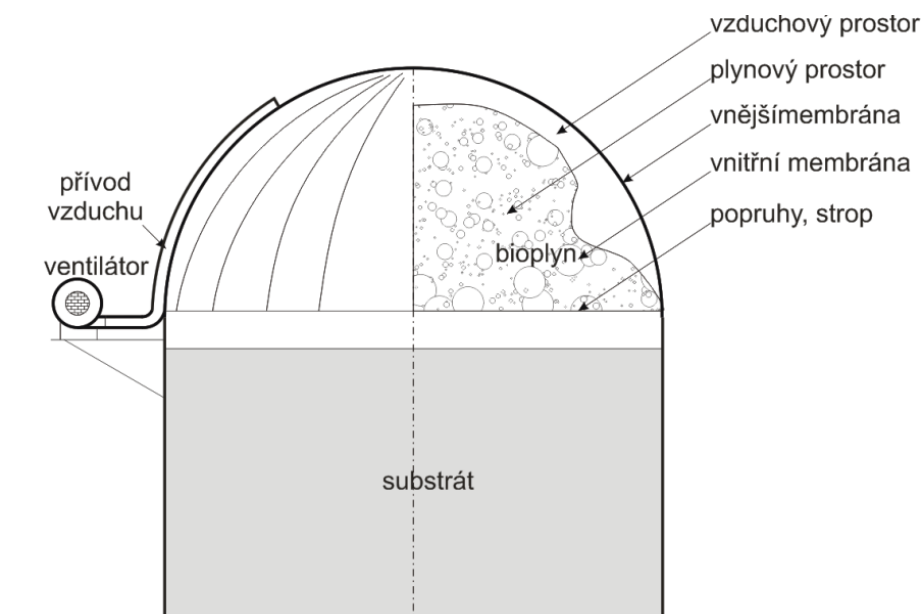
Důležité je před uvedením do provozu ověřit tlakovou zkoušku těsnosti zásobníku. Je nutné, aby zásobníky byly vybaveny přetlakovými a podtlakovými pojistkami. Důležitý parametr vzhledem ke konstrukci zásobníku je, že navržený zásobník musí pojmout 1/4 - 1/8 denní produkce bioplynu.

Zásobníky rozdělujeme na tyto tři základní typy: [4]

#### **a) Nízkotlaké zásobníky**

Jedná se o nejrozšířenější použití pro bioplynové stanice, kdy se přetlak v zásobníku pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,5 milibarů. Jejich instalace bývá prováděna na fermentor a jsou tvořeny z fólií, které musí splňovat bezpečnostní podmínky. [2]

Externí fóliové nízkotlaké zásobníky mohou být provedeny ve tvaru polštáře, které jsou z důvodu povětrnostních vlivů uchovány pod střechou nebo chráněny další vrstvou fólie. Tento typ fólie je umístěn na horní hraně fermentoru a je plynotěsný. Fólie se rozpíná s ohledem na to, jak je plynový zásobník naplněn. [2]



**Obrázek č. 3.2: Schéma plynového zásobníku [2]**

#### **b) Středotlaké zásobníky**

Středotlaké zásobníky pracují s provozním tlakem od 5 až 20-ti barů. Tento typ zásobníků nachází využití zejména tam, kde nelze s hlediska prostoru využít instalaci nízkotlakého zásobníku. Uvnitř středotlakého zásobníku se stlačený bioplyn chová téměř jako ideální plyn, to znamená, že množství stoupá přímo úměrně s tlakem. Při stlačení bioplynu na 10 barů je možné do zásobníku přivést desetkrát větší množství bioplynu než při normálním tlaku. [2]

#### **c) Vysokotlaké zásobníky**

Ve vysokotlakých zásobnících bioplynu dochází k tomu, že bioplyn je stlačen do ocelových lahví na tlak vyšší, než je 200 barů. Vzhledem k vysokým nákladům se však v zemědělských provozech nevyužívá. [2]

## 4. Tepelné výměníky

Následující kapitola č. 4 shrnuje poznatky o deskových výměnících, možných variantách provedení, technologiích a materiálech, které se používají pro jejich výrobu. Tato kapitola se věnuje této problematice z důvodu využití těchto poznatků v praktické části této diplomové práce. Jelikož je deskových výměníků na trhu mnoho, jsou v této práci uvedeny základní typy včetně uvedených výhod a nevýhod a vhodností použití v určitém odvětví.

Za výměníky tepla uvažujeme energetická zařízení, které používáme pro přenos tepelné energie mezi dvěma a více médii (tekutinami). U přenosu tepelné energie nedochází mezi médii k mísení. Použití těchto typů výměníků se využívá jak ve výrobních, tak i nevýrobních odvětvích. Aplikace je možná jak pro chlazení látek, tak i při ohřevu. Rozdělit výměníky můžeme podle některých z následujících kritérií:

- Podle typu využití (ohříváče, kotle, výparníky),
- Podle typu proudění (více-chodé, jednochodé),
- Podle typu teplosměnných povrchů,
- Podle konstrukčního provedení (deskové, spirálové, trubkové). [18]

Na trhu existuje mnoho druhů deskových výměníků a každý z dodavatelů si chrání své knowhow. Mezi nejdostupnější patří tyto typy:

### a) Rozebíratelné deskové výměníky

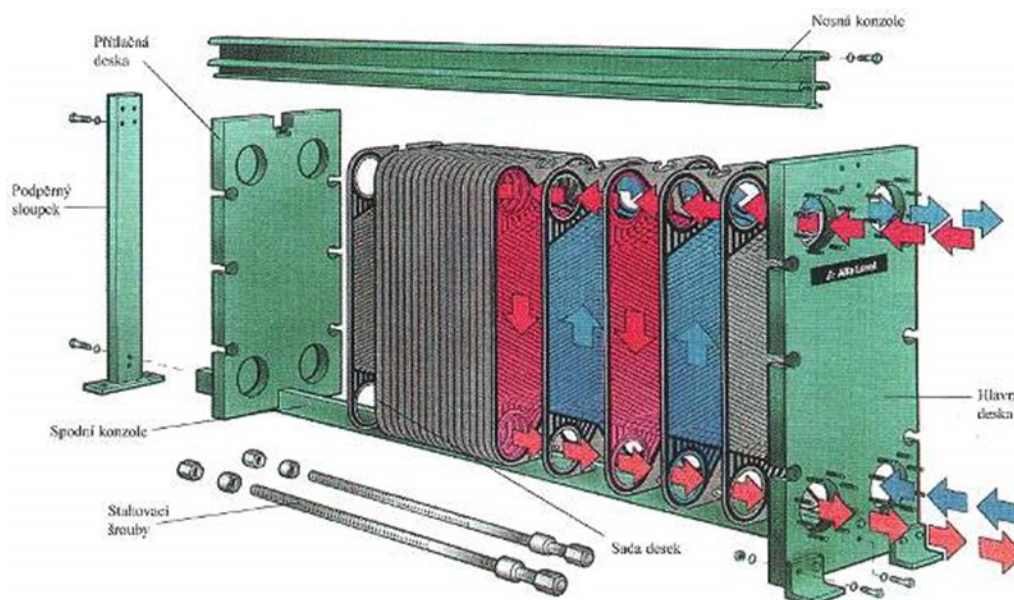
Tento typ výměníku tepla je složen ze sady zvlněných desek. Pro utěsnění průtokových kanálků bývá do každé z pracovních desek vylisována drážka, do které se umístí speciálně vyrobené těsnění. Tímto způsobem je oddělený průtokový systém primárního a sekundárního média. Celek je poté stažen pomocí přitlačné desky a stahovacích šroubů, k pevné desce rámu. [18]

#### **Výhody rozebíratelných deskových výměníků:**

- Rozebíratelnost,
- Snadná údržba,
- Přizpůsobitelnost pro potřebný výkon. [18]

#### Nevýhody rozebíratelných deskových výměníků:

- Životnost těsnění,
- Omezení použitelnosti z důvodu těsnění. [18]



Obrázek č. 4.1: Schéma rozebíratelného deskového výměníku [18]

#### b) Polo-svařované deskové výměníky tepla

Polo-svařované deskové výměníky tepla jsou složeny z desek s elastomerickým těsněním a dvojicí desek, které jsou po obvodu svařeny laserem v ochranné atmosféře. Tato speciální konstrukce je navržena, tak aby tekavá či agresivní látka protékala vně svařovaných desek a dostávala se v co nejmenší míře do kontaktu s těsněním. Do styku s těsněním se dostává pouze při vstupu a výstupu do deskové kazety. V této části deskové kazety je speciální kroužkové těsnění. Toto kroužkové provedení může mít speciální technologickou úpravu, aby odolávalo agresivním médiím. Díky těmto technologiím je zajištěna delší životnost těsnění. [18,19]

#### Výhody polo-svařovaných deskových výměníků:

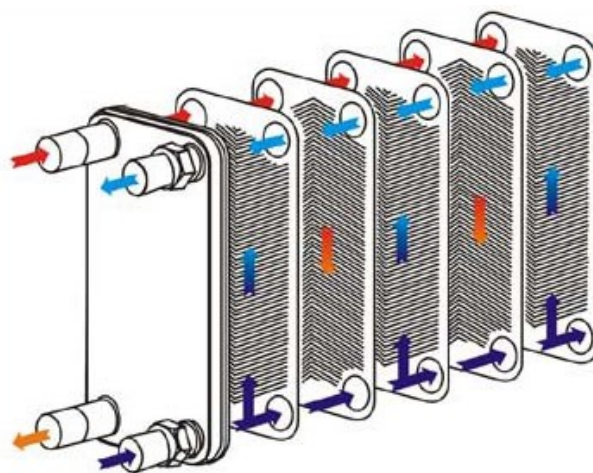
- Vysoká tepelná účinnost,
- Vhodné pro chladicí průmysl,
- Vhodné pro agresivní látky. [19]

### c) Celosvařované deskové výměníky

Celosvařované jsou nerozebíratelné deskové výměníky tepla, které jsou řešeny podobně jako rozebíratelné deskové výměníky. Skládají se z požadovaného množství teplosměnných desek, u kterých se nepoužívá elastomerového těsnění, ale místo těsnění je použito svaru metodou WIG, bez použití přídavného materiálu v ochranné atmosféře. Desky jsou svařeny po vnějším obvodu a po obvodech odtokových a přítokových otvorů. Tímto by se měly eliminovat rizika rozptýlu a prosakování. Celosvařované nerozebíratelné deskové výměníky jsou vhodné pro použití v provozech, kde jsou vysoké teploty a tlaky. [20] Tento typ výměníků je zobrazen na obrázku č. 4.2..



**Obrázek č. 4.2: Celosvařovaný nerozebíratelný deskový výměník [22]**



**Obrázek č. 4.3: Pájený deskový výměník [23]**

Svařený soubor desek tvoří robustnou konstrukci, která může být použita i v prostředí, které je vystaveno chvění. Oproti rozebíratelným výměníkům tepla mají vyšší životnost a lze pro čištění použít agresivní chemické čisticí prostředky. Díky těmto specifickým vlastnostem jsou tyto deskové výměníky vhodné pro vytápěcí techniku, chemický a potravinářský průmysl, systémy chlazení a získávání odpadního tepla. Mají vysokou odolnost proti korozi a v podstatě jsou bezúdržbové. [20]

#### **d) Pájené deskové výměníky**

Spojovací materiál je u těchto typů výměníků nahrazen pájeným spojem. Pájené deskové výměníky tepla jsou používány pro všechny druhy ohřívacích a chladících procesů, kde je vyžadována spolehlivost a bezpečnost. [21]

K dokonalému spájení bez oxidace pak dochází ve vakuové peci. Díky tomu je pak pájka v minimálním kontaktu s medií, které obtékají pouze nerezové desky a tím je dosaženo vysoké teplotní odolnosti a tuhosti. Hlavní výhodou jsou malé rozměry, nízká hmotnost, nerezový materiál zaručuje dobrou odolnost proti korozi, snadná údržba a servis, vysoká účinnost a výkonnost. Jako pájka se používá měď nebo pro speciální aplikace nikl. Pro izolaci pájených deskových výměníků tepla lze použít izolační pouzdra, která jsou tvořena z pevného výlisku ABS vyplněná PU pěnou. U tohoto typu výměníku je velmi snadná a jednoduchá montáž a demontáž izolace. U rozměrných pájených deskových výměníků tepla jsou izolace složeny z více kusů a spojené samořeznými šrouby. [21]



## 5. Praktická část diplomové práce

Následující kapitoly a podkapitoly této diplomové práce popisují konkrétní zvolenou instalaci a podnik ZD Haňovice, jenž pro praktickou část této práce poskytl reálná data z praxe potřebných pro výpočet a návrh výměníků, stanovení produkce bioplynu a návrh řešení pro možné budoucí využití.

### 5.1 *Popis zemědělského družstva Haňovice*

Následující podkapitola 5.1 popisuje zemědělský areál Haňovice, seznamuje s činnostmi družstva a jeho zaměřením. Rovněž je zde uveden popis bioplynové stanice, jakožto nejdůležitější prvek celého podniku, včetně uvedení jednotlivých výkonů a množství vyrobeného tepla.

Družstvo Haňovice se nachází v jedné z nejstarších obcí Olomouckého kraje. První zmínky o obci se datují již od roku 1141. Vesnice se nachází nedaleko města Litovel. Skládá se ze dvou částí Kluzov a Haňovice. Zásadním datem pro obec byl rok 1990, kdy se konaly první komunální volby a k datu 1.1. 1991 se obec rozhodla osamostatnit. [30]

Obec nepatří mezi největší, ale nachází se zde vlastní mateřská školka a základní škola pro děti prvního stupně. V obci dále fungují spolky, jako například sbor dobrovolných hasičů a fotbalový klub. Obecní úřad sídlí v místním kulturním domě, kde se konají různé kulturní akce. [30]

Družstvo vzniklo jako nástupce bývalého JZD Doubrava. Rozléhá se v okrajové části Hané a je zahrnuto do CHKO Litovelského Pomoraví. Celková rozloha, kterou disponuje činí 2 127 ha zemědělské půdy. Zemědělské družstvo Haňovice se zabývá touto činností:

- a) Rostlinnou výrobou,
- b) Chovem dobytka,
- c) Zpracováním plastů,
- d) Pěstováním speciálních odrůd rajčat,
- e) Zpracováním odpadů v BPS. [30]

#### **a) Rostlinná výroba**

Ve sféře rostlinné výroby se družstvo věnuje pěstování potravinářské pšenice a cukrové řepy, řepky olejky a krmných plodin. Dále pěstují trávy a píce pro živočišnou výrobu, kukuřici, obiloviny a osiva. [30]

#### **b) Chov dobytku**

Družstvo se zabývá chovem prasat, který je rozdělen do dvou středisek. První porodna a odchovna prasat, která se nachází v Sobáčově a disponuje počtem 236 kusů prasnic a 1 442 kusů selat. Druhé středisko se nachází v Bílé Lhotě a jedná se o výkrmnu vepřů, která disponuje počtem 1960 kusů prasat. Družstvo se také zabývá chovem mléčného skotu. Denní produkce mléka se pohybuje v rozmezí od 11,5 do 12 tisíc litrů mléka, které je dodáváno do společnosti Olma, kde je dále využíváno pro výrobu mléčných produktů. Chov mléčného skotu disponuje počtem 868 kusů. [30]



#### **c) Zpracování plastů**

Nezemědělské středisko Plasty Mladeč s provozem od roku 1992 spadají pod provoz družstva v Haňovicích. Toto nezemědělské odvětví se zabývá zpracováním plastů. Vyrábí se zde tiskové struny pro 3D tiskárny a profily pro kapsové vzduchotechnické filtry. [30]

#### **d) Skleníky**

Výstavba skleníků započala na jaře roku 2016. První menší skleník o velikosti 1 ha byl hotový již na podzim 2016. Dohromady s větším skleníkem činí celkovou plochu 3 ha. Pro osvětlení a vytápění je využíván bioplyn z bioplynové stanice. U skleníku se nachází laguna, která slouží jako sběrná plocha pro dešťovou vodu, která se využívá k zavlažování. Předpokládaná výroba první sklizně je odhadována na 700 tun cherry rajčat, která budou k prodeji v potravinových řetězcích. Rajčata jsou pěstována v kokosových matracích, které jsou zavlažovány živným roztokem. [30] Ve sklenících jsou pěstovány dvě odrůdy rajčat, Angelle a Juanita. Každá rostlina je jednou za jedenáct měsíců zcela vyměněna za novou. Pro zajímavost je více informací o jednotlivých typech a odrůdách uvedeno v následující tabulce č. 5.1.

**Tabulka č. 5.1: Srovnání odrůd rajčat pěstovaných v ZD Haňovice**

Odrůda Angelle (Snack rajče)		Odrůda Juanita (Cherry rajče)	
Sklízí se jednotlivě (ne na trsu)		Sklízí se na trsu	
Mají červenou barvu.		Má tmavě červenou barvu	
Hmotnost plodu je 11g.		Hmotnost plodu je 12 až 14g	
Plod je podlouhlý.		Plod má pravidelný kulatý tvar	
Počet plodů na trsu je max. 18ks.		Počet plodů na trsu je max. 14 ks	
Jedná se o velice sladké rajče. [30]		Velice sladká a aromatická chuť. [30]	

#### e) Bioplynová stanice ZD Haňovice

Od roku 2012 je v provozu bioplynová stanice o celkovém výkonu 1MW. Tato stanice zásobuje celý objekt teplem a elektrickou energií. Hlavními surovinami pro výrobu bioplynu je kukuřičná siláž, hovězí a prasečí kejda. Kejda je vlastním produktem chovaných zvířat a do bioplynové stanice je dodávána pomocí čerpadel z jímek. Luční a kukuřičná senáž je ukládána do dvou zásobníků, které jsou spojeny se čtyřmi fermentory. Pomocí dopravních šneků jsou suroviny dopravovány do fermentoru v různých časových úsecích. Denní produkce bioplynu se pohybuje okolo 10,500 m<sup>3</sup>. Do bioplynové stanice je denně dopraveno okolo 50 t hovězí a 23 t prasečí kejdy, 26 t kukuřičné siláže, 3,5 t luční senáže a po podzimní sklizni od ledna do dubna denně 10 t cukrovarských řízků, která se nakupují od dodavatelů pro zvýšení produkce bioplynu. Pomocí separátoru je digestát jako vedlejší produkt rozdělen na tuhou a tekutou část, která je později využita jako hnojivo.

## 5.2 *Současný stav BPS Haňovice*

V současné době je strojovna BPS Haňovice vybavena čtyřmi motory Snell – Scania ES 2507 o výkonu jednoho motoru 250 kW, celkem teda 1000 kW. Díky nově vystaveným skleníkům se zvýšily nároky na výrobu energie, proto do budoucna lze uvažovat o pořízení dalšího motoru tohoto typu. V následující tabulce 5.2 jsou uvedeny parametry používaného motoru pro spalování bioplynu.

**Tabulka č. 5.2: Parametry motoru motory Snell – Scania ES 2507**

Motor	el. výkon	el. účinnost	tepelný výkon	tepelná účinnost	spotřeba	celková účinnost
	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[m <sup>3</sup> /hod]	[%]
Schnell – ES 2507	250,0	43,0	232,0	29,9	101	82,9

Na následujícím obrázku č. 5.1 jsou zdokumentovány motory pro spalování bioplynu.



**Obrázek č. 5.1: Motory BPS Haňovice na spalování vyrobeného bioplynu (foto: viz. autor)**

V současné době strojovna disponuje dvěma typy výměníků. Rozvody jsou rozděleny do dvou větví. Každá větev pracuje právě s jedním výměníkem. Celkový tepelný výkon bioplynové stanice je 928 kW. Užitečné teplo vyrobené za rok 2017 představovalo celkovou energii 11.400 GJ. V průběhu dvou let proběhly velké výstavby (skleníky, posklizňová linka, nezemědělská výroba plasty). V současném návrhu rozšíření bioplynové stanice se uvažuje o pořízení nového motoru 250 kW, který by sloužil jako doplňkový zdroj v období, kdy je potřebné svítit ve sklenících. V současné době se bioplynová stanice potýká s problémem, jak by se dala chemicky upravit teplá užitková voda v celém okruhu, z důvodu, že dochází k zanášení výměníků a tím pádem dochází k horšímu předání tepla, což je nevýhodné.

Z důvodu zefektivnění procesu a na základě vyskytujícího se problému s výměníky bylo žádoucí pokusit se navrhnout výměník, který by byl o výkonové řadě sestaven tak, aby nahradil stávající dva typy výměníku. Výpočet byl proveden z reálných hodnot. Tento způsob řešení by mohl částečně vyřešit problém s nedostatkem prostoru v budově strojovny, protože při pořízení nového motoru bude nutná rekonstrukce z důvodu nedostatku prostor. Jako další přínos tohoto řešení je snížení nákladů na údržbu dvou stávajících typů výměníků. Součástí této práce bude i návrh 3D modelu výměníku.

### **5.2.1 Popis stávajících využívaných výměníků**

Jak již bylo popsáno výše, současný systém v BPS využívá dva typy výměníků. Výměník o výkonu 500 kW, který slouží k vytápění areálu družstva, v létě se využívá k např. k sušení obilí. Lze předpokládat, že může být využíván jak t vytápění, tak sušení. Druhý výměník o výkonu 700 kW se využívá k vytápění skleníků, k vytápění fermentorů. Modulární výměník B50 se využívá v náročných systémech. Díky různé kombinace deskových spojů nabízí účinné řešení při požadavcích na průtok vody do 53 m<sup>3</sup>/h. V následujících tabulkách č. 5.3 a 5.4 jsou uvedeny technické specifikace využívaných výměníků.

**Tabulka č. 5.3: Specifikace produktu Swep B50Hx120/1P-SC-S 4x2 [31]**

Maximální počet desek	280 ks
Maximální průtok	56 m <sup>3</sup> /h
Velikost kanálu	0,242 dm <sup>3</sup>
Materiál	316 nerezová ocel

**Tabulka č. 5.4: Technická specifikace výměníku Sondex [32]**

Standartní materiály	AISI316
Materiál pájky	Měď
Maximální tlak	34 bar
Maximální teplota	100-185 °C
Typ připojení příruby	DN80
Možnosti doplňků	Izolace Nožičky Protikusy z uhlíkové oceli nebo oceli nerezové

## 6. Návrh řešení

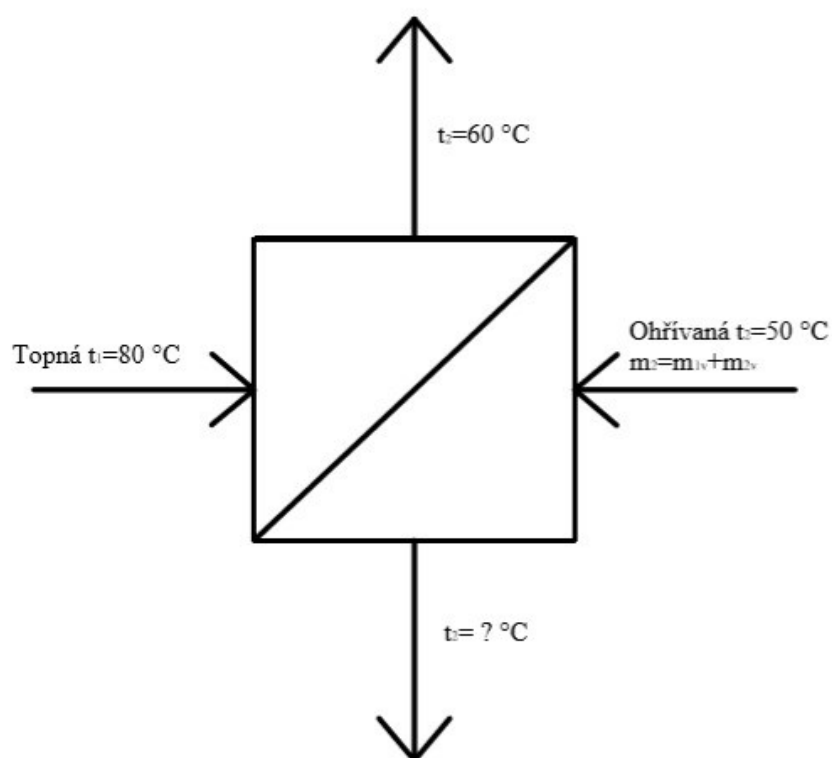
V následující kapitole je proveden výpočet a návrh deskového výměníku za účelem zefektivnění využití tepla v BPS Haňovice. Aby bylo možné tento samotný výpočet provést, byly nutné osobní konzultace, na které jsem docházel. Zároveň bylo nutné seznámit se s celým objektem, provozem od skladování materiálu až po samotné spalování bioplynu a to z důvodů pochopení chodu celého procesu a pochopení problematiky, jak již bylo popsáno v kapitole č. 5. Na základě diskuzí bylo rozhodnuto, že využijeme výkony stávajících dvou výměníků a nahradíme je jedním, který dokáže svým výkonem uspokojit potřeby provozovatele a na jehož základě dojde k možné úspoře prostoru ve strojovně, kde může být pro budoucí potřeby umístěn další motor.

### 6.1 Bilanční schéma a výpočet navrhovaného výměníku

V následující tabulce č. 6.1 jsou uvedeny parametry současných využívaných výměníků, jenž byly potřebné pro návrh a výpočet nového řešení.

**Tabulka č. 6.1: Zadané parametry pro výpočet výměníku**

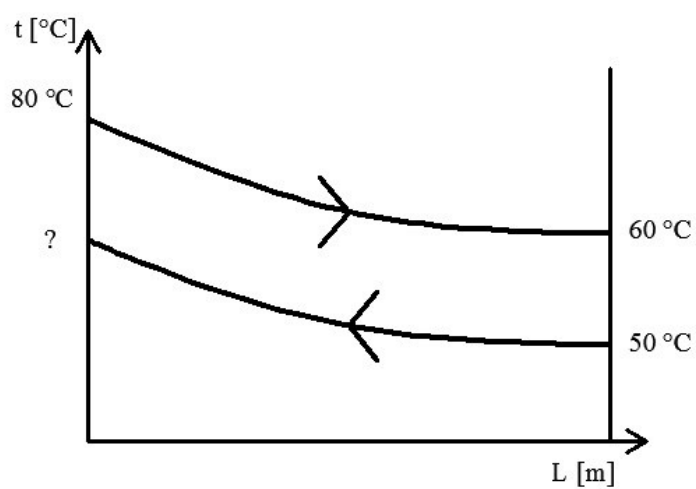
Název	Označení	Rozměr	Jednotky
Výkon výměníku č. 1	$Q_1$	700	[kW]
Výkon výměníku č. 2	$Q_2$	500	[kW]
Teplotní spád topné větve	$t_1/t_2$	80/60	[°C]
Průtok výměníku č. 1	$m_{1v}$	4,7222	[kg/s]
Průtok výměníku č. 2	$m_{2v}$	1,8055	[kg/s]
Vstup ohřívané větve	$t_2$	50	[°C]



**Obrázek č. 6.1.: Bilanční schéma výměníku**

### 6.1.1 Určení teploty z bilanční rovnice

Na následujícím obrázku č. 6.2 je schéma protiproudého výměníku, které slouží k určení teploty z bilančních rovnic.



**Obrázek č. 6.2: Schéma protiproudého výměníku**



$$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_2) [W] \quad (1)$$

Pro dodržení podmínky teplotní spádu 80/60 a dodávaného výkonu  $Q_n=1200 \text{ kW}$  dále platí  $Q_n = Q_1 + Q_2 = \underline{1200} [kW]$

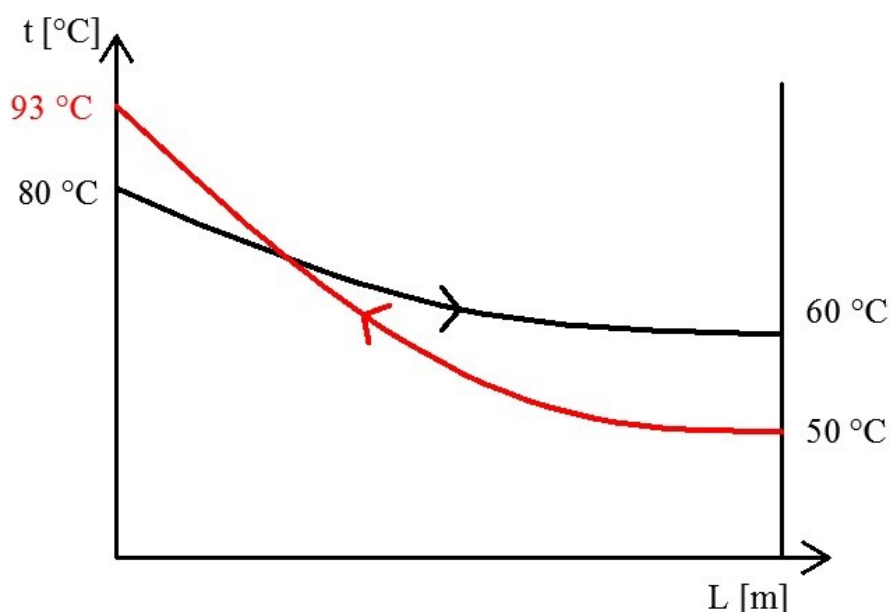
$Q_1$  = výkon stávajícího výměníku č.1 je 700 kW

$Q_2$  = výkon stávajícího výměníku č.2 je 500 kW

Výpočet výstupní teploty ohříváného média  $t_{2(l)}$

$$Q_n = (m_{1v} + m_{2v}) \cdot c_p \cdot (t_{2(l)} - t_2) \Rightarrow t_{2(l)} = \frac{Q_n}{(m_{1v} + m_{2v}) \cdot c_p} + t_2$$

$$t_{2(l)} = \frac{1200}{(6,5277) \cdot 4,181} + 50 = \underline{93} [^{\circ}C] \quad (2)$$



**Obrázek č. 6.3: Schéma protiproudého výměníku**

Pro zajištění funkčnosti výměníku není možné, aby tato teplota byla vyšší než 80°C. Protože ze zadání není zřejmé, jestli zadáný výkon je v médiu nebo se jedná o štítkový výkon uváděný výrobcem, byl proveden přepočet tohoto výkonu. Výkon výměníku byl snížen o 20 %. Tento krok byl proveden z důvodu, že při studiu teorie výpočtu výměníku bylo zjištěno, že u výkonu bývá zvykem přidat 20 % jako rezervu z důvodu zanášení výměníkových desek.

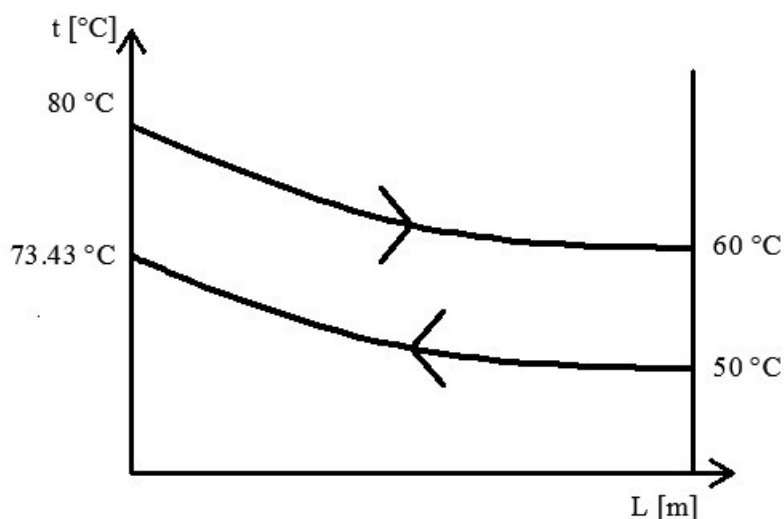
Bylo nutné opakovat předchozí postup pro výkon  $\underline{Q_n = 1200 \cdot 0,8 = 960 [kW]}$

Tento výsledek opět nesplňuje podmínku  $t_{2(l)} < 80^\circ\text{C}$ . Z tohoto důvodu došlo k úpravě zadání, aby bylo možné zaručit funkčnost výměníku. Vychází se ze zadaného výkonu a dodržení parametrů (topné vody). Z tohoto se mění hodnota průtoku  $\underline{m_{2(0)} = 9,8 [kg / s]}$

$$Q_n = (m_{2(0)}) \cdot c_p \cdot (t_{2(l)} - t_2) \Rightarrow t_{2(l)} = \frac{Q_n}{(m_{2(0)}) \cdot c_p} + t_2$$

$$t_{2(l)} = \frac{960}{(9,8) \cdot 4,181} + 50 = \underline{73,43 [^\circ\text{C}]} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (3)$$

Tato výsledná hodnota splňuje podmínku a funkčnost tepelného výměníku.



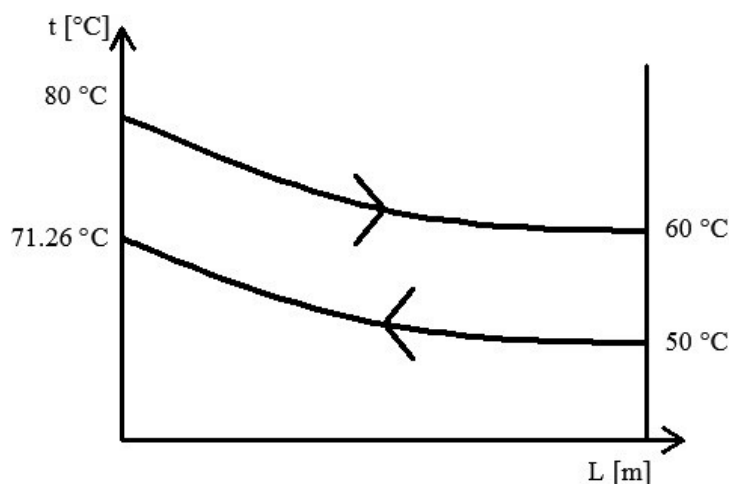
**Obrázek č. 6.4: Schéma protiproudého výměníku vyhovujícími teplotami**

Následně byl opakován výpočet pro výkon  $\underline{Q_n = 1200 [kW]}$ , pro tuto hodnotu bylo nutné upravit hodnotu  $\underline{m_{2(0)} = 13,5 [kg / s]}$

Tato výsledná hodnota splňuje podmínku a funkčnost tepelného výměníku

$$Q_n = (m_{2(0)}) \cdot c_p \cdot (t_{2(l)} - t_2) \Rightarrow t_{2(l)} = \frac{Q_n}{(m_{2(0)}) \cdot c_p} + t_2$$

$$t_{2(l)} = \frac{960}{(13,5) \cdot 4,181} + 50 = \underline{71,26 [^\circ\text{C}]} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (4)$$



Obrázek č. 6.5: Schéma protiproudého výměníku

### 6.1.2 Výpočet střední logarytmické teploty

Výpočet pro  $\underline{Q_n = 1200[kW]}$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(60 - 50) - (80 - 71,26)}{\ln \frac{(60 - 50)}{(80 - 71,26)}} = \underline{9,356[^\circ C]} \quad (5)$$

Výpočet pro  $\underline{Q_n = 960[kW]}$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(60 - 50) - (80 - 73,43)}{\ln \frac{(60 - 50)}{(80 - 73,43)}} = \underline{8,17[^\circ C]} \quad (6)$$

### 6.1.3 Výpočet potřebné plochy výměníku

Pro výpočet potřebné plochy výměníku vycházíme ze vztahu:

$$Q = k \cdot S \cdot \Delta t \Rightarrow S = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} [m^2] \quad (7)$$

Hodnota součinitele prostupu tepla  $k$  pro deskové výměníky byla zjištěna na stránkách výrobce Alfa Laval. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí 6000-7500  $[W / m^2 K]$ . Pro zvolený případ a výpočet byla zvolena střední hodnota 6750  $[W / m^2 K]$ .

Výpočet pro  $\underline{Q_n = 1200[kW]}$

$$S = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{1200000}{6750 \cdot 9,356} = \underline{\underline{19}} [m^2] \quad (8)$$

Výpočet pro  $Q_n = \underline{\underline{960}} [kW]$

$$S = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{960000}{6750 \cdot 9,356} = \underline{\underline{17,4}} [m^2] \quad (9)$$

Hodnota 19 m<sup>2</sup> byla vynásobena korekčním součinitelem 1,2, což je výrobcem udávaná rezerva z důvodů zanášení desek a výsledná plocha poté činí 22,8 m<sup>2</sup>.

#### 6.1.4 Návrh počtu desek výměníku

Pro výkon výměníku až 2000 kW byly zjištěny u výrobce normalizované rozměry desek (v x š) 1,069 x 0,48. Na základě toho bylo vypočteno, že plocha jedné desky bude rovna 0,513 m<sup>2</sup>. Na základě tohoto zjištění a výpočtu bylo možné určit počet

Na základě tohoto výpočtu bylo možné určit počet desek pro navrhovaný výměník.

$$n = \frac{S_v}{S_d} = \frac{22,8}{0,513} = 44,45 = \underline{\underline{45}}_{ks} \quad (10)$$

Pro deskový výměník o výkonu 1200kW bude zapotřebí 45 ks desek.

$$n = \frac{S_v}{S_d} = \frac{17,4}{0,513} = 33,92 = \underline{\underline{34}}_{ks} \quad (11)$$

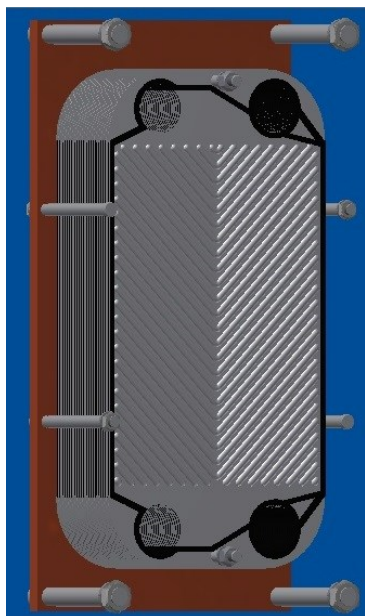
Pro deskový výměník, jehož výkon byl snížen o rezervu 20 %, tedy výměník o výkonu 960 kW bude dostatečné 34 ks desek.

S ohledem na výsledky výpočtu by bylo možné nahradit dva stávající pracující výměníky o výkonu 700 a 500 jedním navrhovaným výměníkem. Jako možného zástupce by bylo možné zvolit deskový výměník Ares A4S x 249, který by měl výkonově pokrýt výše uvedených 1200 kW. Při variantě výměníku o výkonové řadě 960 kW by byl alternativou výměník Ares A4S x 103. Pro obě varianty řešení byly použity rozměry normalizovaného kusu desek uvedeného na stránkách výrobce.

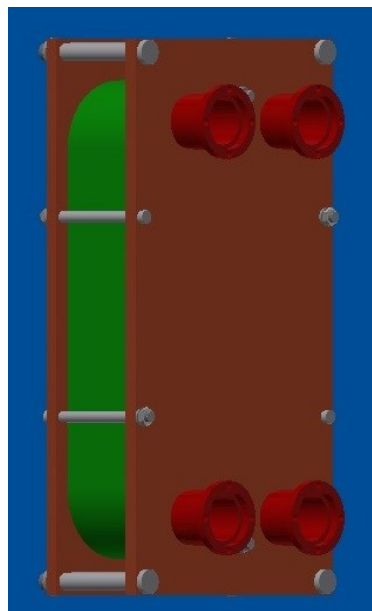
V rámci dosažení cíle této práce bylo kontaktováno několik výrobců výměníků na základě nezávazného formuláře z důvodu prokonzultování možnosti výroby a srovnání mého výpočtu s reálným výměníkem. Žádná z oslovených firem se doposud nevyjádřila.

Výpočet se nakonec podařilo porovnat pomocí softwaru Reflex. Výstupy z tohoto SW jsou součástí této práce.

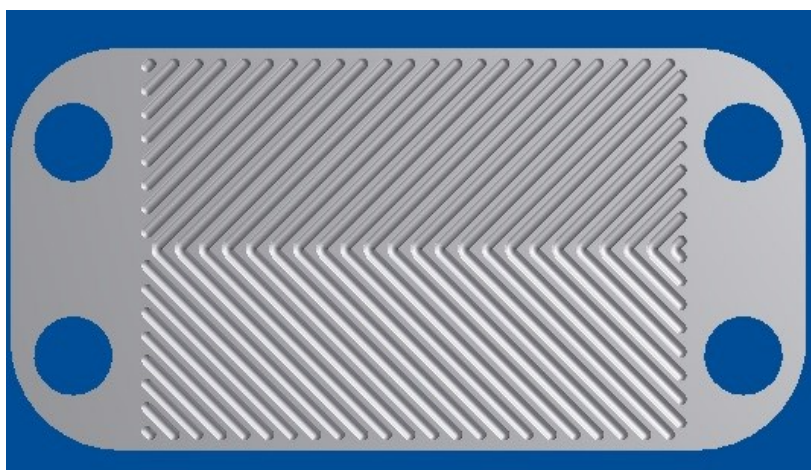
Součástí práce je také grafické zpracování navrhovaného výměníku formou výkresové dokumentace, 3D modelu, které jsou přílohou této práce



**Obrázek č. 6.6: Detail deskového výměníku**



**Obrázek č. 6.7: Navržený deskový výměník, 3D model.**



**Obrázek č. 6.8: Detail desky výměníku, 3D model.**

Abych si ověřil svůj výpočet a mnou navrhované řešení, chtěl jsem využít pro kontrolu výpočetní softwaru firmy Alfa Laval. Tento dostupný softwar , kterým by bylo možné toto řešení nedisponuje možností výpočtu výměníků o takovém to výkonu, ale

pouze do 700 kW. Na základě toho jsem oslovil pomocí mailové korespondence firmu Alfa Lavel s žádostí o pomoc, ale bohužel se mi do dnešního dne nedostalo zpětné ani negativní odpovědi. Z tohoto důvodu jsem pro ověření využil výpočtového softwaru Reflex pro návrh teplotních výměníků. Po zadání potřebných parametrů do softwaru, doporučil systém výměník typu Longtherm rhc 300/200.

Hodnoty dosažené a provedené ručním výpočtem se odlišují od dat získaných výpočtním softwarem. Tento jev může být způsoben rozdílnou metodou postupu výpočtu nebo chybou. Pro porovnání je tento výpočet dostačující, protože tato diplomová práce se nezabývá jen výpočtem a návrhem výměníku.

Výstupy z výpočtového software Reflex pro návrhy teplotních výměníků jsou uvedeny v Příloze C této diplomové práce.

## **6.2 Výpočet produkce bioplynu**

Jedním z cílů této práce je navrhnout možnost optimalizace produkce a využívání bioplynu pro tuto zvolenou instalaci. Důvodů proč toto učinit je hned několik a to: zajištění stability provozu, návrh řešení na zvýšení výroby tepelné energie a tím zajistit dostatek energie pro celý areál a potřebné provozu, ale také z důvodu nových legislativních norem a nutnosti omezení využívání vstřikování LTO. Na základě této skutečnosti bude nutné zvýšit produkci bioplynu.

Následující kapitola je zaměřena na výpočet produkce bioplynu z využívaných vstupních surovin. Výpočet obsahuje ceny vstupních materiálů včetně kalkulace za uplynulý rok 2017. Pro potřeby tohoto výpočtu a dosažení cíle bylo využito informací z předchozí práce na téma: „Optimalizace provozu vybrané bioplynové stanice (BPS)“.[33]

Další možností pro zefektivnění bioplynové stanice se nabízí možnost instalovat nový motor. S ohledem na pořízení nového motoru je žádoucí provést výpočet produkce bioplynu. Pro tento výpočet byl vytvořen v programu MS Excel jednoduchý software, který pracuje na základě změny množství vstupní suroviny. Na základě toho lze zjistit kolik bioplynu se změnou vstupní suroviny vyprodukuje za den nebo rok. S instalací nového motoru, by se zvýšily nároky na denní produkci bioplynu. Z údajů poskytnutých provozovatelem bioplynové stanice v Haňovicích byla provedena teoretická kalkulace tvorby bioplynu za období roku 2017. Vstupní surovina prasečí kejda se do BPS získává ze dvou provozů a to porodnice a výkrmny. Pro zjednodušený výpočet byl tento druh

materiálu sloučen jako druh jeden a produkce bioplynu pro výpočty zprůměrována. Výsledky výpočtu jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce č. 6.2.

**Tabulka č. 6.2: Přehled produkce bioplynu**

	Roční Spotřeba	Denní spotřeba	Bioplyn /Biomasa	Produkce Bioplynu	Produkce Bioplynu
	[t]	[t]	[m <sup>3</sup> /t]	[m <sup>3</sup> /den]	[m <sup>3</sup> /rok]
Kukuřičná siláž	9700	26,58	244	6484,38	2366800
Senáž	1300	3,56	103	366,85	133900
Hovězí kejda	13500	36,99	25	924,66	337500
Vepřová kejda	12500	34,25	23	787,67	287500
Cukrovarské řízky	3600	9,86	115	1134,25	414000

Jak je z tabulky 6.2 zřejmé, největší procentuální zastoupení vstupní suroviny zaujímá hovězí kejda. V další části praktického řešení byl proveden výpočet a finanční náročnost, týkající se právě zajištění vhodného typu surovin a nákladů spojených k zajištění těchto materiálů. Ceny vstupních materiálu byly zjištěny u provozovatele a pro přehlednost jsou uvedeny v tabulce č. 6.3.

**Tabulka č. 6.3: Cena vstupních materiálů pro provoz BPS**

Materiál	[Kč/t]	[Kč/1000 t]
Kukuřičná siláž	590	-
Senáž	780	-
Hovězí kejda	-	43
Vepřová kejda	-	43
Cukrovarské řízky	280	-

Celkové náklady na pořízení vstupních surovin za rok 2017 jsou shrnuty v tabulce č. 6.4. Celkové náklady na pořízení vstupních surovin pro provoz BPS dosáhly částky 8.863.000 Kč.

**Tabulka č. 6.4: Výsledná kalkulace nákladů vstupních surovin za rok 2017**

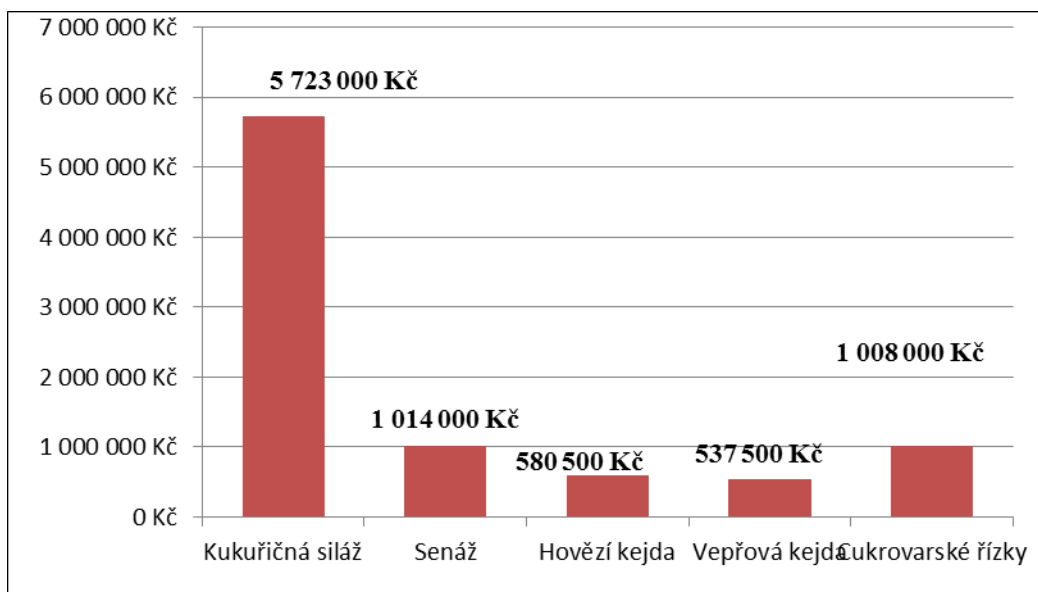
Materiál	[t/rok]	[Kč/t]	[Kč/1000 t ]	Cena
Kukuřičná siláž	9700	590	-	5 723 000 [Kč]
Senáž	1300	780	-	1 014 000 [Kč]
Hovězí kejda	13500	-	43	580 500 [Kč]
Vepřová kejda	12500	-	43	537 500 [Kč]
Cukrovarské řízky	3600	280	-	1 008 000 [Kč]
Celkem za rok	-	-	-	8 863 000 [Kč]

Pro názornost zpracovaných výsledků byly data zaznamenány do grafu č. 6.1, ze kterého je patrné, že finančně nejnáročnější je investice za nákup kukuřičné siláže a to z ceny za tunu materiálu a celkového potřebného množství.

Jelikož se v současné době jedná o spalovací motory, které potřebují vstřikování LTO pro svůj provoz a to pro jeden motor 3,5 l/hod, je potřeba i tento nákup vstupní suroviny zohlednit do celkové kalkulace za nákup vstupního materiálu. Na základě toho nám celková investice za nákup surovin za rok 2017 vzroste o částku 2 800 000 Kč. Tedy celkové investice za rok 2017 za vstupní suroviny činí 11 663 000 Kč.



**Graf č. 6.1: Přehled finančních nákladů za vstupní suroviny do BPS za rok 2017**



### 6.3 Výhled do budoucna

V následující podkapitole je uveden výpočet množství a potřeby bioplynu pro 5 motorů. Jak již zde bylo zmíněno výše, jednou z možných variant je pořízení nového spalovacího motoru, proto se tato práce zabývá touto problematikou. S pořízením nového motoru, také narůstají nároky na vyšší denní produkci bioplynu a zajištění patřičného množství materiálu. Nejprve bylo vypočteno, jaká bude denní spotřeba bioplynu pro 5 motorů, oproti stávajícím 4 kusům.

**Tabulka č. 6.5: Spotřeba bioplynu pro BPS**

Spotřeba 1 motoru	101	[m <sup>3</sup> /hod]
Denní spotřeba	2424	[m <sup>3</sup> /den]
Celková spotřeba pro 4 motory	9696	[m <sup>3</sup> /den]
Celková spotřeba pro 5 motorů	12120	[m <sup>3</sup> /den]

Pro dodržení zajištění dostatečného množství materiálu pro 5 motorů je nutné navýšit množství vstupních surovin. Jelikož lze předpokládat, že z důvodu nedostatku prostor a objektů provozovatel nebude rozšiřovat živočišný chov, tak bylo ve vytvořeném softwaru upravováno množství kukuřičné siláže, kterou může provozovatel zakoupit.

Nebyla upravovaná senáž a to z důvodu nejvyšší ceny a cukrovarské řízky, které jsou dostupné pouze od ledna do dubna v posklizňovém období. Následující tabulka č. 6.6 představuje zjednodušenou úpravu výsledného softwaru.

**Tabulka č. 6.6: Přehled produkce bioplynu pro 5 motorů s úpravou na vstupu**

	Roční spotřeba	Denní spotřeba	Bioplyn /Biomasa	Produkce bioplynu	Produkce bioplynu
	[t]	[t]	[m <sup>3</sup> /t]	[m <sup>3</sup> /den]	[m <sup>3</sup> /rok]
Kukuřičná siláž	13300	36,438	244	8890,959	3245200
Senáž	1300	3,562	103	366,849	133900
Hovězí kejda	13500	36,986	25	924,658	337500
Vepřová kejda	12500	34,247	25,5	873,288	318750
Cukrovarské řízky	3600	9,863	115	1134,247	414000

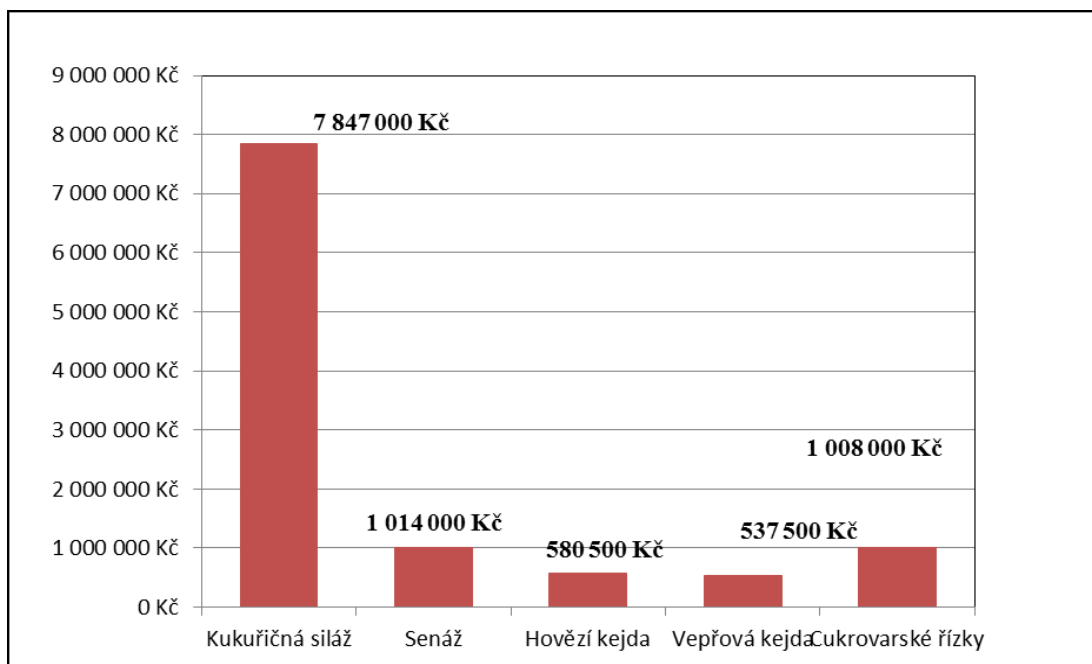
Jak je patrné z roční spotřeby kukuřičné siláže oproti původní spotřebě za rok 2017 pro 4 motory, bylo by potřeba zakoupit o 37 % kukuřičné siláže více, abychom zajistili chod všech 5 motorů. Data ze softwaru byla následně zpracována. Na základě toho lze předpokládat, jak by se mohla změnit finanční situace pro instalovanou BPS.

**Tabulka č. 6.7: Výsledná kalkulace nákladů po navýšení vstupu kukuřičné siláže**

Materiál	[t/rok]	[Kč/t]	[Kč/1000 t ]	Cena
Kukuřičná siláž	13300	590	-	7 847 000 Kč
Senáž	1300	780	-	1 014 000 Kč
Hovězí kejda	13500	-	43	580 500 Kč
Vepřová kejda	12500	-	43	537 500 Kč
Cukrovarské řízky	3600	280	-	1 008 000 Kč
<b>Celkem</b>				<b>10 987 000 Kč</b>

Pro přehlednost jsou výsledky zpracovány do grafu č. 6.2.

**Graf č. 6.2: Předpokládaný vývoj ceny v případě zavedení nového motoru.**



S pořízením nového motoru, narůstající nároky na vyšší denní produkci bioplynu viz tabulka č. 6.4. S tím jsou spojené i náklady na pořízení vstupních surovin jak je patrné z tabulek č. 6.5 a 6.6. Nesmíme opomenout stejně tak, jak tomu bylo při kalkulaci za rok 2017 potřebu po zakoupení LTO, které se s pořízením dalšího motoru navýší a to na částku 3 500 000 Kč. Celkově by náklady na pořízení vstupních surovin vzrostly o 24 % a to na celkovou částku 14 487 000 Kč. Je však nutné zmínit, že investice do dalšího motoru by zabezpečila vyšší produkci bioplynu tím vyšší produkci tepelné energie pro potřebné instalace, zejména pak skleníky.

#### **6.4 *Návrh nového možného řešení pro stávající instalaci***

Z hlediska zpřísňujících se emisních limitů bude nutné k datu 1.1 2020 upravit nebo zcela vyměnit stávající typy kogeneračních jednotek za nové, které dané limity budou splňovat. V současné době je nutné do stávajících typu motorů vstříkovat LTO, jak již bylo zmíněno v podkapitole 6.3 a to o množství 3,5 l/hod pro jeden motor. Po již zmíněném datu 1. 1. 2020 takovéto motory nebude možné provozovat. Tato podkapitola 6.4 s zabývá touto problematikou nových emisních limitů a zohledňuje finanční náklady, které bude muset ZD Haňovice po tomto datu investovat, aby zajistila stávající provoz KGJ.

##### **6.4.1 *Legislativní změny***

V tabulce č. 6.8 jsou pro přehlednost uvedeny stávající platné emisní limity. Pro nás důležité jsou zvýrazněny červeně.

**Tabulka č. 6.8: Emisní limity pro KGJ o výkonu 1 – 5 MW**

Druh spalovacího motoru	Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m <sup>-3</sup> ]		
		1-5 MW		
Plynový motor		NO <sub>x</sub>	TZL	CO
	Kapalné palivo	500	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500	-	650
	Plynné palivo obecně	500	130	1300
Dieselový motor	Kapalné palivo	500	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500	-	650
	Plynné palivo obecně	500	130	1300

Nové emisní limity platné od ledna 2020 pro stávající KGJ jsou zvýrazněny v tabulce 6.9 červeně. Z tabulky je zřejmé, že stávající KGJ nesplní normy limitů pro CO.

**Tabulka č. 6.9: Nové emisní limity platné pro KGJ o výkonu 1 – 5 MW od ledna 2020**

Druh spalovacího motoru	Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m <sup>-3</sup> ]		
		1-5 MW		
		NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Dieselový motor	Kapalné palivo	400	50	450
	Plynné palivo obecně	500	-	650

#### 6.4.2 Návrh řešení za účelem dodržení nových emisních limitů

V současné době jsou instalovány 4 motory o výkonu 250 kW, které pro svůj provoz potřebují vstříky LTO. Roční náklady na zajištění LTO jsou cca 2,8 mil. Kč. Náklady na úpravu jednoho motoru budou ve výši 2 mil. Kč. S ohledem na eliminaci vstříků LTO do spalovacích motorů bude nutné zvýšení produkci bioplynu. Množství bioplynu však lze spočítat pomocí přiloženého softwaru, který je součástí této práce.

**Tabulka č. 6.10: Přehled nákladů na renovaci stávajících motorů**

Náklady na úpravu motoru	8	[mil. Kč]
Náklady na údržbu	2,0	[mil. Kč/rok]
Náklady za LTO	-2,8	[mil. Kč /rok]

Jako další varianta řešení se nabízí pořízení zcela nových motorů, které nabízí např. firma agriKomp. Předpokládána cena za jeden nový motor činí 3,4 mil Kč. V této ceně je zahrnutá instalace a připojení. Tyto motory není nutné nijak upravovat, protože budou splňovat nové legislativní úpravy emisních limitů. V úvahu přichází kogenerační jednotka BGA 136/250, která byla představena na veletrhu Techagro.

**Tabulka č. 6.11: Přehled nákladů na pořízení nových motorů**

Náklady na motory	13,6	[mil. Kč]
Náklady na údržbu	2,0	[mil. Kč/rok]
Náklady za LTO	-2,8	[mil. Kč /rok]

Při pořízení nových motorů sice provozovatele čeká vyšší počáteční investice o cca 50%, ale nové motory disponují vyšší účinností. Zároveň po odstranění vstřikování LTO provozovateli odpadnou roční výdaje ve výši 2,8 mil Kč za rok. Na základě zjištěných skutečností se přiklání k variantě zakoupení nových motorů.

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zefektivnění produkce a využívání bioplynu pro konkrétní instalaci. Za referenční bioplynovou stanici byla zvolena BPS instalována v ZD Haňovice. Vybrané téma mě oslovilo zejména z důvodu možnosti spolupráce a řešení reálných problémů při provozu BPS.

Na počátku proběhlo seznámení s objektem a po několika konzultacích a zjištění nedostatku jsem se rozhodl plnění cílů rozdělit do následujících částí:

- a) Návrh a výpočet výměníku tepla za stávající dva typy.
- b) Zefektivnění tvorby bioplynu na základě navrženého základního softwaru pro zvýšení dodávek tepla, včetně kalkulace finanční náročnosti.
- c) Návrh nového řešení z hlediska změny emisních limitů od 1. 1. 2020 a kalkulace nákladů.

Na základě hlavního problému a to zanášení teplosměnných ploch výměníků a tím snížení účinnosti stávajících výměníků se ukázalo jako vhodná varianta návrh nového výměníku, který by byl schopen nahradit stávající dva typy. Z tohoto důvodu jsem na základě získaných dat provedl výpočet a návrh nového typu výměníku. V současné instalaci je strojovna vybavena 2 kusy deskových výměníků. Cílem této práce bylo, aby se 2 kusy daly nahradit 1 kusem téhož typu, který by byl výkonově sestaven tak, aby dokonale nahradil 2 současné výměníky.

Cílem tohoto řešení bylo také ušetření místa v oblasti strojovny a dále pak ušetření nákladů na údržbu výměníků, z důvodu zanášení teplo směnných plocho a tím pádem ke snižování jejich účinnosti. Později bylo zjištěno, že výměníky se zanáší z důvodu použité vody, která má vyšší obsah železa a je zde nutná chemická úprava vody. Touto problematikou se však tato předložená práce již nezabývá. Výpočet výměníku je proveden ručně a k navrženému výměníku je také zpracována výkresová dokumentace. Tento výměník jsem chtěl pro zajímavost porovnat s výměníkem navrženým firmou Alfa Laval, bohužel nikdo nereagoval na mé emaily. Podařilo se mi však provést výpočet ve výpočtovém softwaru Reflex a po zpracování výsledků bylo zjištěno, že výsledky se odlišují, což mohlo být zapříčiněno rozdílným postupem výpočtu.

Následující část práce se zabývá oblastí surovin pro výrobu bioplynu, kdy proběhlo zpracování a finanční zhodnocení nákladů za vstupní suroviny. V této části jsem se zaměřil

na výpočet množství bioplynu z důvodu možného pořízení nového motoru a tím pádem je nutné zvýšit produkci bioplynu, aby bylo možné provozovat všechny stroje, pro které je nutné zajištění patřičného množství paliva. Vytvořil jsem pomocí MS Excel jednoduchý výpočtový software, kde je možné měnit množství vstupních materiálů a tím zjistit produkci a potřebu bioplynu a nákladů na pořízení vstupních surovin. Tento výpočtový kalkulátorem by mohl sloužit, jako podpůrný prostředek při nutnosti rychlé změně vstupních surovin, pro zvýšení produkce bioplynu či při kalkulaci nové BPS, i když nezohledňuje zcela všechny potřebné parametry. To dává možnost dalšího rozvoje tohoto kalkulátoru v rámci jiné diplomové práce.

V poslední podkapitole této práce jsem se zaměřil na výhled této BPS do budoucna a návrhu řešení, s hledem na nové legislativní normy. Bylo zjištěno, že od 1.1 2020 je nutné současně použité kogenerační jednotky dovybavit katalyzátory nebo je nahradit novými zdroji, aby bylo možné dodržovat zákonná ustanovení. Zde z ekonomického hlediska bylo zjištěno, že vybavení současných jednotek katalyzátory převyšuje 40 % nákladů na výměnu zcela nových jednotek. Z důvodu výše nákladů se revitalizace jeví jako neekonomický krok, proto doporučení pro provozovatele pořízení nových zdrojů.

Vzhledem k tomu, že se práce opírá o reálná data, lze předpokládat, že výsledky, návrhy a řešení mohou být uplatnitelné pro praxi. Jednotlivých dílčích cílů této diplomové práce bylo dosaženo. Zároveň práce přináší další možné oblasti řešení studentských prací.



## Poděkování

*Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při řešení mé diplomové práce podali pomocnou ruku, za jejich rady, názory a cenné zkušenosti. Tímto děkuji Ing. Veronice Sassmanové, Ph.D., prof. Ing. Dagmar Juchelkové, Ph.D., Ing. Petru Pavlíkovi a doc. Ing. Mojmiru Vrtkovi, Ph.D.*

*Adam Šimeček*

## 8. Literatura

- [1] STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS. *Bioplyn*: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. Říčany: Gas, 2003. ISBN 80-7328-029-9.
- [2] DOHÁNYOS, Michal. *Anaerobní čistírenské technologie*. Brno: NOEL 2000, c1998. ISBN 80-86020-19-3.
- [3] Schulz, Heinz; Eder, Barbara. *Bioplyn v praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2004. 168 str. ISBN 80-86167-21-6.
- [4] *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha: CZ Biom, 2009, 155 s. ISBN 978-80-903777-5-2.
- [5] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [6] RYBOVÁ, Romana. *Uhlí a Koks*. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupný též z WWW: <<http://finexpert.e15.cz/ktery-zpusob-vytapeni-je-nejlevnejsi>>.
- [7] JOSEF, Fik. *Zemní Plyn*. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupný též z WWW: <<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Zemn%C3%AD\\_plyn](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zemn%C3%AD_plyn)>>.
- [8] *Členění bioplynových stanic*. [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<http://www.bioplynovestanice.cz/cleneni-bps/>>.
- [9] *Bioplynové stanice* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<http://www.enviweb.cz/archiv/?find=bioplynov%C3%A9+stanice&article=on&press=on&video=on&info=on>>.
- [10] *Technologie bioplynových stanic* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<http://www.odpadoveforum.cz/biomasa/ke/vyuka/FRVS/CD>>.
- [11] *Suchá a Mokrý fermentace* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.gascontrol.cz/environmentalni-technologie/bioplynove-stanice/>>.
- [12] *Bioplynové stanice v Evropě: Bioplyn* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<http://european-biogas.eu/2015/12/16/biogasreport2015>>.
- [13] *Bioplynové stanice SR* [online]. Energie-portal.sk: PROPERTY & ENVIRONMENT, 2015 [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.energie-portal.sk/Dokument/bioplynove-stanice-v-sr-100191.aspx>>.

- [14] *Bioplynové stanice SNR* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/bioenergy-germany-facts-and-figures-development-support-and-investment>>.
- [15] *Bioplynové stanice v USA* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.americanbiogascouncil.org/biogas>>.
- [16] *Výhřevnost bioplynu* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <[http://www.bioplyn.cz/at\\_vlastnosti.htm](http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm)>.
- [17] *Vlastnosti a využití bioplynu* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <[https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn\\_energie\\_z\\_e\\_zemedelstvi.pdf](https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn_energie_z_e_zemedelstvi.pdf)>.
- [18] *Rozebíratelné deskové výměníky*: Prospekt [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.alfalaval.cz/produkty/penos-tepla/deskove-vymniky-tepla/rozebiratelne-deskove-vymeniky-tepla/>>.
- [19] *Polosvařované deskové výměníky tepla*: Prospekt [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<http://www.sondex.cz/sk-SK/Produkty/Deskov%C3%A9-v%C3%BDm%C4%9Bn%C3%ADky-tepla/Polosva%C5%99ovan%C3%A9-desky.aspx>>.
- [20] *Celo-Svařované deskové výměníky tepla*: Prospekt [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.alfalaval.cz/produkty/penos-tepla/deskove-vymniky-tepla/celosvaovane-deskove-vymniky-tepla-s-ramem/>>.
- [21] *Pájené deskové výměníky tepla* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.alfalaval.cz/produkty/penos-tepla/deskove-vymniky-tepla/pajene-deskove-vymeniky-tepla/>>.
- [22] *Celo svařovaný deskový výměník* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupný též z WWW: <<https://www.alfalaval.cz/produkty/penos-tepla/deskove-vymniky-tepla/celosvaovane-deskove-vymniky-tepla-s-ramem/alfa-rex/>>.
- [23] *Pájené deskové výměníky* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupný též z WWW: <<https://www.g-mar.cz/pajene-vymeniky/>>.
- [24] *Bioplynové stanice ve Švédsku* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506002564>>.

- [25] SLADKÝ, Václav: *Farmářské bioplynové stanice v Rakousku*. Biom.cz [online]. 2002-01-11 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z WWW: . ISSN: 1801-2655.
- [26] *Bioplyn*. In: *CNG* [online]. 2010 [cit. 2012-04-17]. Dostupný též z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-125/>>.
- [27] *Traktor poháněný bioplynem* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupný též z WWW: <<http://www.hybrid.cz/bioplyn-mohl-zemedelcum-pomoci-nahradit-zelenou-naftu>>.
- [28] *Zásobník bioplynu* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupný též z WWW: <[https://www.google.cz/search?q=z%C3%A1sobn%C3%ADky+bioplynu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi2yZW1mrfZAhVH3SwKHYNGAHcQ\\_AUICigB&biw=1242&bih=557#imgsrc=Z0GiuH\\_z-ZBCmM:](https://www.google.cz/search?q=z%C3%A1sobn%C3%ADky+bioplynu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi2yZW1mrfZAhVH3SwKHYNGAHcQ_AUICigB&biw=1242&bih=557#imgsrc=Z0GiuH_z-ZBCmM:)>.
- [29] *Složení bioplynu* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupný též z WWW: <<https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn.pdf>>.
- [30] *Zemědělské Družstvo Haňovice* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupný též z WWW: <<http://www.zdhanovice.cz/cs/cinnosti>>.
- [31] *Produktový katalog Swep* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupný též z WWW: <<https://www.swep.net/products/b50/>>.
- [32] *Produktový list deskového výměníku Sondex* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupný též z WWW: <[http://www.sondex.cz/Files/Billeder/PDF/Datablade/Brazed/SL\\_CZ%202016/SL222\\_DataSheet\\_CZ.pdf](http://www.sondex.cz/Files/Billeder/PDF/Datablade/Brazed/SL_CZ%202016/SL222_DataSheet_CZ.pdf)>.
- [33] ČULÍK, D. *Optimalizace provozu vybrané bioplynové stanice*: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017, 58 s.

## Seznam tabulek, obrázků, grafů a příloh

### *Seznam tabulek*

Tabulka č. 3.3: Složení bioplynu .....	20
Tabulka č. 3.4: Výhřevnost bioplynu podle místa vzniku .....	24
Tabulka č. 5.1: Srovnání odrůd rajčat pěstovaných v ZD Haňovice.....	35
Tabulka č. 5.2: Parametry motoru motory Shnell – Scania ES 2507.....	36
Tabulka č. 5.3: Specifikace produktu Swep B50Hx120/1P-SC-S 4x2.....	38
Tabulka č. 5.4: Technická specifikace výměníku Sondex.....	38
Tabulka č. 6.1: Zadané parametry pro výpočet výměníku.....	39
Tabulka č. 6.2: Přehled produkce bioplynu.....	47
Tabulka č. 6.3: Cena vstupních materiálů pro provoz BPS.....	47
Tabulka č. 6.4: Výsledná kalkulace nákladů vstupních surovin za rok 2017.....	48
Tabulka č. 6.5: Spotřeba bioplynu pro BPS.....	49
Tabulka č. 6.6: Přehled produkce bioplynu pro 5 motorů s úpravou na vstupu.....	50
Tabulka č. 6.7: Výsledná kalkulace nákladů po navýšení vstupu kukuřičné siláže.....	51
Tabulka č. 6.8: Emisní limity pro KGJ o výkonu 1 – 5 MW.....	53
Tabulka č. 6.9: Nové emisní limity platné pro KGJ o výkonu 1 – 5 MW od ledna 2020...	53
Tabulka č. 6.10: Přehled nákladů na renovaci stávajících motorů.....	54
Tabulka č. 6.11: Přehled nákladů na pořízení nových motorů.....	54

### *Seznam obrázků*

Obrázek č. 2.1: Schéma bioplynové stanice s využíváním technologie suché fermentace .....	15
Obrázek č. 2.2: Schéma bioplynové stanice s využíváním technologie mokré fermentace.....	16
Obrázek č. 2.3: Pracovní technika s pohonem na bioplyn .....	18
Obrázek č. 3.1: Srovnání kombinované a oddělené výroby energií .....	26

Obrázek č. 3.2: Schéma plynového zásobníku .....	28
Obrázek č. 4.1: Schéma rozebíratelného deskového výměníku .....	30
Obrázek č. 4.2: Celosvařovaný nerozebíratelný deskový výměník .....	31
Obrázek č. 4.3: Pájený deskový výměník .....	31
Obrázek č. 5.1: Motory BPS Haňovice na spalování vyrobeného bioplynu.....	36
Obrázek č. 6.1.: Bilanční schéma výměníku.....	40
Obrázek č. 6.2: Schéma protiproudého výměníku.....	40
Obrázek č. 6.3: Schéma protiproudého výměníku.....	41
Obrázek č. 6.4: Schéma protiproudého výměníku vyhovujícími teplotami.....	42
Obrázek č. 6.5: Schéma protiproudého výměníku.....	43
Obrázek č. 6.6: Detail deskového výměníku.....	45
Obrázek č. 6.7: Navržený deskový výměník, 3D model.....	45
Obrázek č. 6.8: Detail desky výměníku, 3D model.....	45

### ***Seznam grafů***

Graf č. 2.1: Přehled BPS v Evropě.....	17
Graf č. 3.2: Závislost zisku bioplynu z jedné tuny vstupní suroviny .....	25
Graf č. 6.1: Přehled finančních nákladů za vstupní suroviny do BPS za rok 2017.....	49
Graf č. 6.2: Předpokládaný vývoj ceny v případě zavedení nového motoru.....	51

### ***Seznam příloh***

Příloha A: Výkres desky navrhovaného výměníku
Příloha B: Výkres sestavy navrhovaného výměníku včetně seznamu položek
Příloha C: Výstupy z výpočtového software Reflex pro návrhy teplotních výměníků
Příloha D: Výkresová dokumentace strojovny
Příloha E: 3D model navrženého deskového výměníku
Příloha F: Základní softwar pro výpočet produkce bioplynu při změně vstupní suroviny